



REVUE DES RÉGIONS ARIDES

Éditée par L'Institut des Régions Arides - Médenine - TUNISIE

ACTES DU SÉMINAIRE INTERNATIONAL

**« ACQUIS SCIENTIFIQUES
ET PERSPECTIVES POUR
UN DEVELOPPEMENT
DURABLE DES ZONES
ARIDES »**

Jerba 5-6-7 Décembre 1996.

Séminaire International
*« Acquis scientifiques et perspectives
pour un développement durable des zones arides »*
Jerba 5 - 6 - 7 décembre 1996



Cette manifestation s'est déroulée sous l'égide du Secrétariat d'Etat à la Recherche Scientifique et à la Technologie en collaboration avec le Ministère de la Défense Nationale, le Ministère de l'Agriculture et le Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire.

Ce séminaire a bénéficié également du concours des nombreuses organisations régionales et internationales dont l'UE, l'ORSTOM, l'UNESCO, le CIHEAM.



ORGANISATION DU SÉMINAIRE

INSTITUT DES RÉGIONS ARIDES

Route du Djorf Km 22,5 4119 Médenine - Tunisie
Tél. 216 5 640 661 - 640 687 Fax : 216 5 640 435
Email : houcine.khatteli@ira.rnrt.tn

AVEC LE CONCOURS DE

Secrétariat d'Etat à la Recherche Scientifique et à la Technologie

18, Rue 8010 Montplaisir 1002 Tunis (Tunisie)

Commission Européenne

Rue de la Loi 200, BP 1049 Bruxelles (Belgique)

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

5, Impasse Chahrazed BP 434 1004 El Menzah Tunis (Tunisie)

Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO)

7, Place de Fontenoy 75352 Paris SP (France)

Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM),

11 Rue Newton 75116 Paris (France)

PRESIDENT

Houcine KHATTELI

Institut des Régions Arides 4119 Médenine (Tunisie)

RAPPORTEURS PRINCIPAUX

Noureddine Akrimi

I.N.A.T (Tunisie)

Pierre Rognon

Université Pierre et Marie Curie (France)

COMITE D'ORGANISATION

Mohamed Ali BEN ABED

I.R.A-Médenine (Tunisie)

Ali FERCHICHI

I.R.A-Médenine (Tunisie)

Mongi SGHAIER

I.R.A-Médenine (Tunisie)

Jilani ZEMZEMI

I.R.A-Médenine (Tunisie)

Houcine TAAMALLAH

I.R.A-Médenine (Tunisie)

Mohamed BENSASSI

I.R.A-Médenine (Tunisie)

Touhami KHORCHANI

I.R.A-Médenine (Tunisie)

Mohamed TALBI

I.R.A-Médenine (Tunisie)

COMITE SCIENTIFIQUE

Noureddine AKRIMI

I.N.A.T (Tunisie)

Moncef BEN SAID

I.N.A.T (Tunisie)

Mekki BOUKHRIS

Faculté des Sciences de Sfax (Tunisie)

Abdelkader CHERIF

I.R.E.S.A Tunis (Tunisie)

Ahmed CHENNOUFI

I.N.A.T (Tunisie)

Abderrazak DAALOUL

I.N.A.T (Tunisie)

Mohamed Sahbi HAJJEJ

A.V.F.A Tunis (Tunisie)

Belgacem HENCHI

S.E.R.S.T Tunis (Tunisie)

Mustapha LASRAM

C.I.H.E.A.M (France)

Edouard LE FLOC'H

CEFE-Montpellier (France)

Ali M'HIRI

I.N.A.T (Tunisie)

Mohamed Salah MEKNI

ICARDA (Tunisie)

Roger PONTANIER

ORSTOM Dakar (Sénégal)

Mohamed Nejib REJEB

INGREF Tunis (Tunisie)

Pierre ROGNON

Univ. P. et M. Curie (France)

Ali SELMI

I.R.E.S.A Tunis (Tunisie)

Mohamed SKOURI

UNESCO Paris (France)







SECRETARIAT DU SEMINAIRE

Saïd FADHLI

Mohamed LATRACH

Hédi ZARROUG

S O M M A I R E

	Préface	5
	Allocution du Professeur Mongi SAFRA, Secrétaire d'Etat auprès du Premier Ministre, chargé de la Recherche Scientifique et de la Technologie.....	6
	Introduction	9
	Session 1 : <i>Dégradation des milieux arides et désertiques</i>	11
	Session 2 : <i>Eaux et Sols</i>	75
	Session 3 : <i>Aridoculture</i>	171
	Session 4 : <i>Parcours et amélioration pastorale</i>	245
	Session 5 : <i>Elevage</i>	345
	Session 6 : <i>Socio-économie et développement</i>	383
	Synthèse	488
	Liste des participants	495
	synthèse (en arabe)	500

PRÉFACE

Les zones arides et semi-arides, qui représentent le tiers de la surface du globe, sont composées d'écosystèmes fragiles et sensibles. Le phénomène de désertification y est particulièrement actif en raison des caractéristiques climatiques de ces zones, de la surexploitation des ressources naturelles et de l'accroissement démographique.

Face à cette situation contraignante, la Tunisie a mis en place une législation adéquate, notamment en matière d'agroforesterie, de sylvopastoralisme et de réforme foncière, qui est allée de pair avec une vigoureuse politique de vulgarisation, de formation et de recherche.

Ainsi fut créé, en 1976, l'Institut des Régions Arides, dont la mission est la réalisation des travaux de recherches, des études et des projets visant le développement économique et social des milieux arides.

Cet établissement, qui fête son vingtième anniversaire, est devenu un des centres les plus connus dans l'étude de la désertification. Rassemblant étroitement biologistes, géographes, économistes, sociologues, cet institut a été pluridisciplinaire et même interdisciplinaire bien avant que ces qualificatifs ne soient largement répandus dans la démarche scientifique.

En effet, la nature de l'organisation des systèmes de production des milieux arides impose cette approche pluridisciplinaire, où sont pris en compte, non seulement les dimensions naturelles et techniques, mais également les aspects socio-culturels, politiques et économiques.

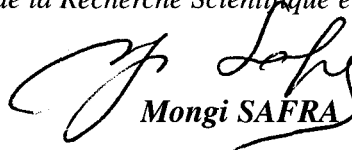
C'est dire la complexité des problèmes qui se posent au développement des milieux arides. Développer un milieu soumis à des conditions écologiques précaires, en adaptant les interventions aux situations sociales les plus diverses, n'est pas une tâche facile. Le rôle des chercheurs apparaît donc vaste.

L'Institut des Régions Arides qui a déjà engagé une action de grande envergure dans ce domaine serait particulièrement un lieu privilégié en Afrique et dans le bassin méditerranéen où pourraient se développer et se concrétiser des techniques et méthodes de développement durable des milieux arides et prédésertiques. La visite du Président Ben Ali le 7 mai 1994 vient renforcer le rôle pionnier de cet institut dans ce domaine.

A nos jours, les données utilisables sur le fonctionnement des écosystèmes arides et leur transformation en systèmes de production sont peu abondantes, peu diffusées et peu exploitées. Nous nous réjouissons donc, chaque fois qu'une étude sur des milieux arides et désertiques vient d'être publiée, particulièrement celle, qui au delà de la classique compréhension des processus de dégradation, nous apportera des clés, combien plus passionnantes et utiles du développement durable et soutenu de ces zones.

C'est dans ce cadre que s'inscrit la publication des actes du séminaire international sur les acquis scientifiques et les perspectives pour un développement durable des zones arides. Ce congrès qui survient après un certain nombre d'événements dont la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement "CNUED" tenue à Rio de Janeiro - Brésil en 1992 et la Convention de Lutte contre la Désertification "CLCD", formellement adoptée en juin 1994, montre le rôle que joue la Tunisie dans la mise en œuvre de ces conventions. Cette volonté a été bien exprimée par le Président Ben Ali dans son discours à l'occasion de la célébration de la journée mondiale de l'alimentation à Rome, le 16/10/1991 " ... nous voulons, en plus de la régénération du tissu forestier de nos terres, préserver notre Patrie et nos voisins d'une redoutable poussée de la désertification et des changements climatiques ... Un effort solidaire est pour nous un devoir en même temps qu'il sert nos intérêt ".

Le Secrétaire d'Etat auprès du Premier Ministre,
chargé de la Recherche Scientifique et de la Technologie



Mongi SAFRA

Allocution de Monsieur Mongi SAFRA
Secrétaire d'Etat auprès du Premier Ministre
Chargé de la Recherche Scientifique et de la Technologie

Monsieur le Gouverneur de Médenine,
Monsieur le Délégué de Midoun,
Messieurs les Représentants de l'UNESCO, de l'ORSTOM,
Mesdames et Messieurs,

C'est pour moi un honneur et un plaisir d'ouvrir cette rencontre internationale sur : **"les acquis scientifiques et les perspectives pour un développement durable des zones arides"** organisée par l'Institut des Régions Arides, dans le cadre des festivités de son vingtième anniversaire.

Je saisis cette occasion pour souhaiter à vous tous en mon nom personnel et au nom du Gouvernement Tunisien la bienvenue en Tunisie, havre de paix, de solidarité et de dialogue.

Par la même occasion je tiens à remercier vivement tous les organismes nationaux et internationaux qui ont contribué au financement de ce séminaire, en l'occurrence :

- La Commission Européenne
- L'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO)
- Le Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM)
- l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM).

Je remercie également les organisateurs de ce séminaire ainsi que tout le personnel de l'Institut des Régions Arides qui ont préparé cette rencontre à l'instar des cinq autres rencontres internationales qui se sont déroulées durant les trois derniers mois.

Les thèmes qui seront abordés au cours des travaux de votre séminaire sont d'une importance capitale pour toutes les régions arides et désertiques qui couvrent plus du tiers de la superficie du globe terrestre.

En effet, la désertification et la dégradation des terres des zones arides constituent un problème de développement d'envergure mondiale. Il ne s'agit pas d'une préoccupation propre aux pays directement touchés, mais d'une question vitale pour le développement durable et la sécurité dans le monde. L'avenir des générations actuelles et futures dépendra dans une large mesure de la réponse que l'humanité saurait apporter à ce phénomène.

Conscient des répercussions néfastes de la désertification sur son développement, notre pays, sous les hautes directives du Président BEN ALI, n'a ménagé aucun effort pour assurer sa responsabilité nationale et internationale dans la lutte contre ce fléau. Le budget considérable et les grands programmes engagés pour faire face à l'érosion, l'ensablement, la salinisation des sols, la dégradation des parcours et la surexploitation des ressources en eau témoignent de la volonté et de la décision de notre pays pour lutter contre la désertification.

Néanmoins, il serait utile de rappeler quelques réalisations pour illustrer l'effort national dans ce domaine :

- La création de huit parcs nationaux et de nombreuses réserves naturelles pour

la sauvegarde du patrimoine végétal et animal.

- Le traitement de plus d'un million d'ha de terres à usage agricole dans le cadre de la Stratégie Nationale de la Conservation des Eaux et des Sols.
- L'aménagement de plus de 600 000 ha de terres de parcours collectifs et domaniaux.
- La plantation et le reboisement fourrager de 325 000 ha.
- Le reboisement de 287 000 ha
- La réalisation d'importants programmes de fixation des dunes, couvrant plus de 150 000 ha.

D'autre part, pour induire le développement des zones arides et désertiques, et de façon plus générale pour assurer la protection des ressources naturelles et rationaliser leur exploitation le Gouvernement Tunisien a pris de nombreuses mesures institutionnelles par la création d'organismes nationaux et régionaux dont la mission est de réaliser de tels objectifs, parmi ces organismes je cite :

- Le Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire,
 - Le Ministère des Domaines de l'Etat et des Affaires Foncières,
 - Le Secrétariat d'Etat à la Recherche Scientifique et à la Technologie,
 - L'Institut des Régions Arides,
 - L'Office de Développement du Sud,
 - L'Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricole,
 - L'Agence Nationale de Protection de l'Environnement,
 - Le Centre National de Télédétection,
- et tout récemment l'Agence de la Protection du Littoral.

Plusieurs stratégies et plans nationaux de développement des zones arides ont été également élaborés, dont :

- * La Stratégie Nationale des Ressources en Eau 1992-2001.
- * La Stratégie Nationale de Conservation des Eaux et des Sols 1990-2001.
- * La Stratégie Nationale d'Amélioration Pastorale et de Reboisement.
- * La Stratégie Nationale de Lutte contre la Désertification.

Au niveau international, la Tunisie a, à maintes reprises, lancé de vibrants appels en faveur d'un partenariat global pour lutter contre ce fléau qui menace sérieusement le développement et la stabilisation dans le monde.

Dans son discours prononcé au siège de la F.A.O le 16 octobre 1991, le Président Zine El Abidine Ben Ali a souligné qu'un effort mondial solidaire est pour nous tous un devoir en même temps qu'il sert nos intérêts. C'est qu'un pays aujourd'hui menacé de désertification sera, demain, une voie ouverte à l'invasion par le désert du pays voisin. L'arbre qui protège aujourd'hui mon pays contre le fléau de la désertification est, en même temps pour les pays limitrophes, un rempart solide contre cet effroyable mal écologique. Il est, dès lors, naturel de songer, au niveau de notre organisation à ce que, tout au long de l'année, l'arbre figure en tête des préoccupations des responsables du développement agricole, et de l'environnement en général, dans tous les pays du monde.

Notre pays a par ailleurs contribué activement à l'élaboration des différentes conventions internationales en matière de lutte contre la désertification et de développement des milieux arides et particulièrement au sommet de la Terre à Rio et dans la mise en œuvre de la Convention Internationale de Lutte Contre la Désertification.

Il est vrai qu'au cours des dernières décennies, de nombreuses manifestations internationales ont fait le point des connaissances concernant la dégradation, la désertification et la

baisse de la productivité des terres en zones arides, ainsi que celui des conséquences socio-économiques de ces phénomènes.

A ces occasions, des ébauches de solutions ont été avancées et de nombreuses tentatives visant la gestion optimale des ressources naturelles, la réhabilitation et la mise en valeur des écosystèmes dégradés ainsi que l'amélioration des conditions de vie des populations ont été engagées.

Mesdames et Messieurs,

Faire le bilan de ces différentes réalisations et tracer les orientations futures dans le domaine du développement durable des milieux arides sont les principaux objectifs de cette manifestation scientifique, initiée par l'I.R.A. Cet établissement qui depuis sa création en 1976, a œuvré en vue de contribuer à la réalisation de ces objectifs. Ce séminaire sera pour nous une occasion pour connaître de plus près les investigations de cet institut en matière d'aridoculture, d'amélioration pastorale, d'élevage, de gestion et de préservation des ressources naturelles, et de développement social et économique des milieux arides.

Honorables Invités,

Nous sommes de ceux qui croient que face aux grands problèmes comme ceux de la sécheresse et de la désertification, les pays concernés se doivent de coopérer et de mettre en commun leurs expériences et leurs moyens humains et matériels, ces problèmes n'ayant pas de frontières Il y va l'avenir de notre continent et de nos peuples.

La Tunisie de l'ère nouvelle qui accueille chaleureusement ce congrès souhaite le renforcement et la multiplication d'initiatives de rencontres, d'échanges et de coopération pour la mise en œuvre des recommandations du sommet de la Terre de Rio et de la Convention Internationale de Lutte Contre la Désertification.

Je voudrais, pour terminer, souhaiter beaucoup de succès à vos travaux, ainsi qu'un agréable séjour, parmi nous.

Je vous remercie pour votre attention.

Introduction

La dégradation des milieux naturels dans les zones arides et semi-arides s'est dramatiquement amplifiée au cours de ce siècle en raison de l'accélération de la croissance démographique, des mutations socio-économiques et des transformations concomitantes des systèmes d'exploitation des ressources naturelles.

L'extension des surfaces cultivées dans les zones marginales, l'accroissement du cheptel et les modes de gestion et d'exploitation inappropriés ont entraîné différents processus de dégradation : défrichement et prélèvement du couvert végétal, surpâturage, érosion des sols et détérioration de leur fertilité ...

Face à cette dégradation des ressources naturelles, beaucoup d'efforts ont été déployés depuis plusieurs années aussi bien en matière de restauration et de réhabilitation des milieux dégradés notamment à travers les programmes de conservation des eaux et du sol, de développement agro-sylvo-pastoral et de mobilisation des ressources en eau qu'en matière de recherche scientifique sur les voies et les moyens les plus appropriés pour juguler le fléau de la désertification..

Si de nombreux problèmes ont pu trouver leur solution, en revanche cette dynamique nouvelle a engendré des problèmes nouveaux dont l'appréhension est plus difficile et la solution exige des moyens plus conséquents et une plus grande synergie.

S'inscrivant dans le cadre d'une meilleure diffusion des acquis de la recherche scientifique et d'un vaste échange d'expériences entre divers partenaires à l'échelle nationale et internationale en matière d'aridoculture et de lutte contre la désertification, ce séminaire organisé par l'I.R.A à l'occasion de la célébration de son vingtième anniversaire a pour objectifs de :

- Présenter les résultats des travaux de recherches au cours des deux dernières décennies en Tunisie et dans d'autres pays dans les domaines de l'aménagement et de la gestion des ressources naturelles des zones arides.
- Evaluer l'impact de ces résultats notamment dans l'optique de la mise en œuvre du concept du développement durable.
- Identifier les principales lacunes et les insuffisances de ces recherches tant au niveau de la conception qu'au niveau de la réalisation et du suivi.
- Définir les orientations futures de ces recherches à la lumière des enseignements tirés des expériences vécues et des difficultés rencontrées.
- Approfondir la réflexion sur la possibilité de promotion et de valorisation des résultats de recherches en vue d'une meilleure contribution au développement durable des zones arides.



SESSION 1 :

**DÉGRADATION
DES MILIEUX
ARIDES ET
PREDESERTIQUES**

Etude climatique en Tunisie présaharienne : Proposition d'un nouvel indice de subdivision climatique des étages méditerranéens aride et saharien (<i>A. Ferchichi</i>).....	13
Etat et bilan des terres agricoles en Tunisie (Diagnostic et solutions à entreprendre) (<i>A. Mtimet, Ch. Dérrouiche, M. Hachicha, B. Jlidi</i>).....	26
Nouvelles technologies dans le domaine des ressources en eau et de la lutte contre l'ensablement (<i>P. Rognon</i>).....	39
Mise au point d'une méthode de fixation mécanique des dunes mobiles dans une zone présaharienne du sud tunisien (<i>H. Khatteli</i>).....	43
Ensablement et désertification dans la vallée moyenne de l'Oued Drâ : Le mythe de la fluctuation de la limite nord du désert (<i>A. Ben Mohammadi, L. Ben Mohammadi, M. Le Hanbali, A. Morel, M. Chardon</i>).....	48
Amendement calcaire et érodibilité éolienne des sols sableux : essais sous tunnel à vent (<i>M. Kardous, M. H. Snaneet, N. Akrimi</i>).....	60

PROPOSITION D'UN NOUVEL INDICE DE SUBDIVISION CLIMATIQUE DES ETAGES MEDITERRANEENS ARIDE ET SAHARIEN

Ali FERCHICHI,
Institut des Régions Arides, 4119 Médenine-Tunisie

RESUME :

L'application des différents indices, formules et critères de subdivision climatiques aux données météorologiques d'un ensemble de stations de la Tunisie présaharienne ne révèle aucune particularité sauf que le bilan climatique est déficitaire, tous les mois de l'année, pour toutes les stations étudiées. Ces formules et critères ne permettent pas d'exprimer dans quelle mesure les climats de deux localités sont semblables ou différents au point de vue de leur influence sur les végétaux (cultivés ou spontanés).

L'introduction d'un nouvel indice (I_{rp} = indice de la répartition de la pluviométrie) qui tient compte du caractère irrégulier et sporadique des précipitations, permet, dans certaines limites, une meilleure caractérisation de l'influence du climat sur la végétation.

Mots clés : Tunisie présaharienne, climat, variabilité et répartition de la pluviométrie

SUMMARY :

The application of different indexes, formulas and criteria of climatic zonation for meteorological data issued from weather stations in presaharian Tunisia does not reveal any particularity, except that the water balance remains negative along the year. These formulas and criteria do not allow to assess at what extent two localities are similar or different regarding the impact of climate on vegetation (spontaneous or cultivated).

The introduction of a new index (I_{rp} = index of rainfall distribution) which takes into account the irregular and sporadic character of the precipitation allows generally better characterisation of the impact of climate on vegetation.

Key words : presaharian Tunisia, climate, rainfall distribution and variability

INTRODUCTION :

Le climat de la Tunisie présaharienne (figure 1) se trouve dans l'aire isoclimatique méditerranéenne qui peut être définie, de point de vue écologique, comme un climat de zone tempérée, donc à photopériodisme saisonnier et quotidien et à pluviosité concentrée sur la saison froide ou relativement froide, l'été étant sec (Emberger, 1971).

La Tunisie présaharienne est soumise, d'après Despois (1955), à deux centres d'action climatique totalement opposés : l'un, situé au Sud-Ouest, est le lieu d'un climat subtropical saharien sec et chaud, l'autre, situé à l'Est dans le golfe de Gabès, est sous l'influence d'un climat méditerranéen relativement tempéré. L'essentiel des précipitations est originaire soit du golfe de Gabès (pluies d'automne et début d'hiver), soit du bassin occidental de la Méditerranée (pluies de printemps et d'hiver) et rarement de l'Atlantique (Floret et Pontanier, 1982).

D'après Ben Dakhli (1995), Les perturbations sahariennes, qui exercent une grande influence sur le climat de la Tunisie présaharienne, sont issues des dépressions liées au Front Inter-Tropical. Ces dépressions se déplacent d'Ouest en Est, longeant le trentième parallèle, pour déboucher sur le golfe de Gabès. L'air chaud venant du Sahara, par suite de l'introduction de l'air froid, passe d'abord par la Méditerranée, s'humidifie, aborde de nouveau la terre plus chaude, se réchauffe à la base et devient instable. Il donne lieu à des développements pluvieux orageux assez importants.

Le climat de la Tunisie présaharienne a fait l'objet de nombreux travaux (Le Houérou, 1959, 1969; Floret et Pontanier, 1982; Hammami, 1990; Zaafouri, 1993; El Hamrouni, 1994 etc.). C'est à Le Houérou (1959, 1969) que revient l'établissement des différentes nuances climatiques en Tunisie présahariennes sur la base des valeurs des précipitations moyennes annuelles (P) et de la moyenne des minima du mois le plus froid (m).

Cependant, la question qu'on pourrait poser est dans quelle mesure les critères utilisés (P et m) sont ils suffisants pour renseigner sur les nuances climatiques dans une région comme la Tunisie présaharienne où l'irrégularité et le caractère orageux des précipitations en constituent l'aspect dominant.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail dont les objectifs sont :

- fournir une esquisse du climat de la Tunisie présaharienne;
- discuter, sur la base des données météorologiques, prélevées sur une période de 90 ans, les différentes subdivisions climatiques dans cette région en fonction des indices, méthodes et critères climatiques établis par différents auteurs;
- essayer d'établir une méthode de subdivision climatique en Tunisie présaharienne qui tient compte du caractère peu fréquent, irrégulier et sporadique de la pluviométrie.

Les éléments climatiques qui sont analysés dans ce travail sont : la pluie, la température et l'évaporation. La pluie est d'une importance capitale car elle détermine la quantité d'eau disponible pour les processus vitaux d'une plante. La température conditionne la vitesse des réactions chimiques des activités vitales des plantes et influence également l'évaporation. L'évaporation détermine le bilan climatique global. Elle permet d'interpréter l'incidence de la sécheresse sur les végétaux.

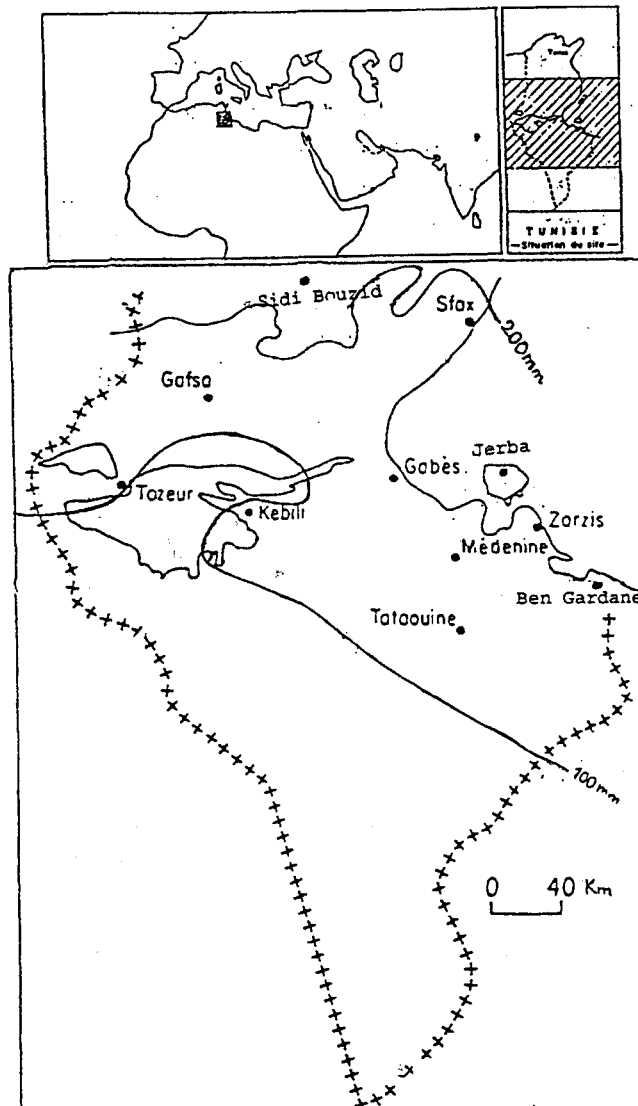


Figure 1: Carte de la Tunisie présaharienne (* Localisation des stations météorologiques étudiées).

1 Les précipitations

1.1 Régime et variabilité mensuels des précipitations

Le tableau 1 donne la répartition mensuelle des précipitations de 11 stations couvrant le nord (Sidi Bouzid, Sfax) la façade méditerranéenne (Gabès, Jerba, Zorzis), la région continentale (Gafsa, Tozeur, Kébili) et le sud (Ben Gardane, Tataouine) de la Tunisie présaharienne.

D'une façon générale, Les précipitations mensuelles sont faibles, quelque soit le secteur, et présentent un déficit estival à partir du mois du mai.

Tableau 1 : Répartition des précipitations mensuelles moyennes de quelques stations de la Tunisie présaharienne (moyenne de 90 ans calculée d'après les données météorologiques de l'Institut National Météorologique de Tunisie).

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août
Sidi bouzid	33,4	38,8	25,9	22,0	16,5	20,0	29,9	22,0	21,2	10,1	7,3	10,4
Gafsa	15,2	17,3	17,6	17,5	15,5	15,1	22,0	15,5	11,4	6,2	1,7	4,8
Sfax	25,5	39,9	26,0	18,8	23,5	18,5	24,1	17,9	11,3	4,5	0,6	3,4
Tozeur	8,4	13,1	13,7	10,8	11,4	8,1	12,8	10,2	5,8	3,3	0,2	1,3
kébili	7,0	11,3	12,5	13,1	10,9	8,2	15,3	8,4	5,5	1,3	0,3	0,2
Gabès	17,5	35,8	30,1	19,2	22,3	17,4	21,1	13,6	8,6	1,6	0,4	1,2
Jerba	17,6	47,3	39,3	26,3	25,9	19,4	21,3	13,7	7,0	1,3	0,1	1,3
Zarzis	15,8	28,9	39,1	33,5	24,9	23,6	20,7	13,1	6,6	1,4	0,2	1,2
Médenine	10,8	23,6	16,5	17,3	17,4	17,7	25,7	13,9	6,4	1,0	0,2	1,1
Ben Gardane	11,3	28,0	26,7	23,3	28,5	20,1	23,9	11,2	5,9	0,5	0	0,7
Tataouine	7,7	10,3	13,4	14,5	17,6	14,1	20,6	10,5	6,5	1,3	0	1,9

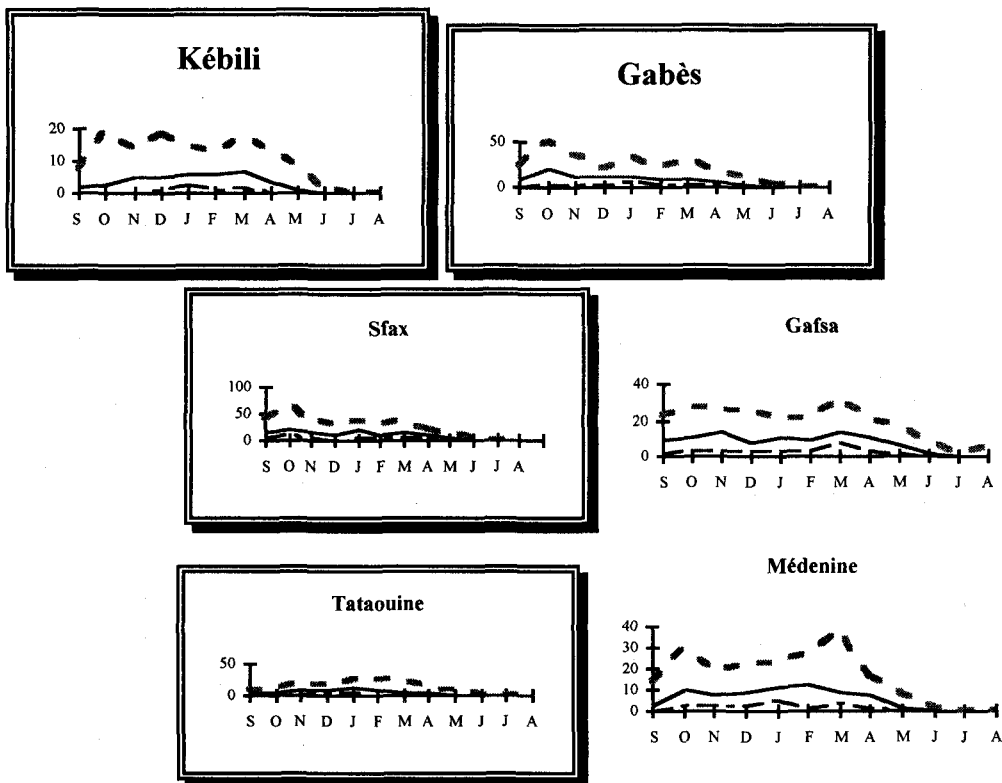


Figure 2 : Variations mensuelles des précipitations dans 6 stations de la Tunisie présaharienne. Valeurs de la médiane, du 1^{er} quantile (Q₁ = 75%) et du 3^{ème} quantile (Q₃ = 25%)

Légende: - - - - - 1^{er} quantile
 (———) médiane
 (.) 3^{ème} quantile

Pour mieux analyser le régime des précipitations mensuelles, on a utilisé l'analyse des fréquences. En effet la précipitation mensuelle moyenne n'est pas réellement représentative dans les climats à différenciation pluviométrique comme le climat méditerranéen et notamment ses étages aride et saharien. La moyenne est une valeur arithmétique qui tient compte des mois exceptionnellement secs ou humides qui sont parfois très anormaux ou douteux. Elle est rarement réalisée.

L'approche "fréquentielle" qui repose essentiellement sur la notion de fréquence d'un phénomène (Peguy, 1970; M'hirit, 1982) paraît mieux adaptée à la structure des données météorologiques de la Tunisie

présaharienne. Cette méthode permet d'analyser les données climatiques d'un nombre assez élevé d'années pour déterminer avec quelle fréquence ils se sont produits. Alors, on suppose que les années futures se produisent avec les mêmes probabilités.

Dans l'étude des fréquences, on utilise couramment les fractiles qui divisent la série d'observation ou la distribution de fréquence en classes de même effectif (Dagnelie, 1973). Ainsi, la médiane divise la série en deux classes de même effectif, les quantiles divisent la série en cinq classes, les déciles en dix classes etc.

La figure 2 représente, pour certaines des stations étudiées, les valeurs des précipitations mensuelles médianes, du premier quantile et du troisième quantile.

Pour toutes les stations, les précipitations mensuelles médianes, c'est à dire celles atteintes ou dépassées une année sur deux, sont faibles (généralement inférieures à 20mm) et présentent des maxima absolus en hiver pour Sfax, Tataouine, Tozeur, Médenine et Ben Gardane, en automne pour Jerba, Gabès et Zarzis et en fin d'hiver début de printemps pour Gafsa et Kébili.

Les valeurs du premier quantile, c'est à dire la fréquence des quantités précipitées une année sur quatre, montrent qu'à l'exception de l'été, période à pluviométrie faible ou nulle, chacun des mois de l'année pourrait être suffisamment pluvieux ($P > 20\text{mm}$) une année sur quatre. Les valeurs du troisième quantile, c'est à dire la fréquence des quantités précipitées trois années sur quatre, montrent que ces précipitations sont très faibles ($P < 5\text{mm}$).

Concernant la variabilité des précipitations mensuelles (tableau 2), on remarque qu'en dehors de la période sèche estivale où la variabilité est de l'ordre de 300% et peut atteindre des valeurs extrêmes de 700%, cette valeur oscille entre 120 et 150% pour le reste des mois de l'année.

Tableau 2 : Valeurs (en%) des coefficients de variation des précipitations mensuelles durant la période 1900-1990 pour 11 stations de la Tunisie présaharienne.

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Sfax	108	148	118	129	97	112	109	137	126	232	358	334
Tataouine	153	152	128	117	118	113	176	173	181	231	-	334
Tozeur	201	142	132	150	116	124	128	134	154	281	325	302
Médenine	175	146	139	126	114	112	158	140	162	197	642	295
Sidi Bouzid	147	204	116	193	123	121	94	90	114	143	324	153
Jerba	152	128	129	111	139	102	119	145	188	231	424	385
Kébili	236	168	145	144	123	114	163	169	169	204	663	452
Ben Gardane	164	130	125	110	120	125	155	138	166	254	739	472
Gabès	144	143	147	157	117	116	119	149	160	178	345	307
Zarzis	221	136	124	124	136	168	118	169	139	249	371	466
Gafsa	112	119	104	157	108	110	106	122	128	174	257	195

1.2 Régime et variabilité annuels des précipitations

La figure 3 représente la pluviométrie moyenne annuelle de quelques stations de la Tunisie présaharienne. D'une manière générale, les précipitations sont faibles pour l'ensemble des stations et diminuent suivant un gradient Est-Ouest et Nord-Sud. Mais la pluviométrie annuelle n'a qu'une valeur indicative. C'est essentiellement sa régularité ou plutôt sa variabilité qui caractérisent le climat.

Dans le tableau 3 sont portés les indices de quantification de la variabilité annuelle de la pluviosité. Dans l'ensemble des régions naturelles de la Tunisie présaharienne, le coefficient de variation de la pluviométrie se situe autour de 50%. Le rapport entre la pluviométrie maximale absolue et la pluviométrie minimale absolue varie de 11 pour Gafsa et Ben Gardane à 22 pour Kébili, Zarzis et Jerba.

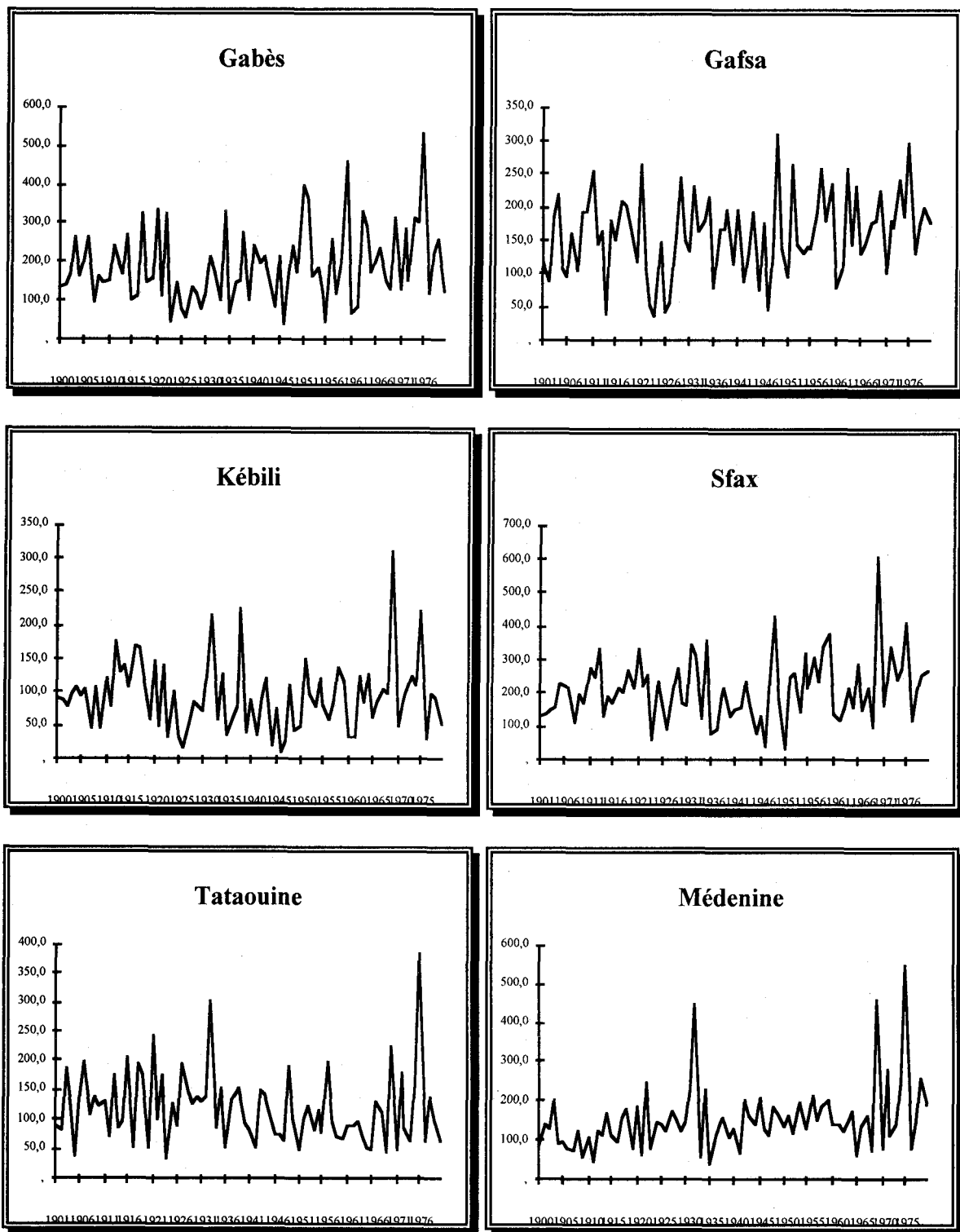


Figure 3 : Variation annuelle des précipitations de quelques stations de la Tunisie présaharienne

Tableau 3 : Variabilité annuelle des précipitations, dans 11 stations de la Tunisie présaharienne, évaluée par les valeurs des coefficients de variations (C.V.) et le rapport de la pluviométrie maximale absolue (PM) à la pluviométrie minimale absolue (Pm)

	P.moy.	C.V.%	PM	Pm	PM/Pm
Sidi bouzid	258	52	905	60	15
Sfax	212	45	604	37	16
Gafsa	160	38	410	36	11
Tozuer	100	45	207	16	13
Kébili	94	55	308	11	28
Gabès	189	51	533	39	14
Jerba	216	52	850	39	22
Médenine	152	56	550	37	15
Zarzis	217	54	521	24	22
Ben Gardane	181	52	519	46	11
Tataoiune	118	51	384	36	11

1.3 Fréquence des années favorables à la végétation

Le trait général le plus remarquable ressortant de l'étude des précipitations en Tunisie présaharienne est, en plus de leur faible quantité, leur variabilité mensuelle et annuelle. Cette variabilité est tellement caractéristique qu'elle suffit à elle seule à caractériser le climat. La question qu'on pourrait se poser est dans quelle mesure ce régime pluviométrique pourrait influencer la vie, la continuité et l'évolution des espèces et des groupements végétaux?

Pour appréhender cette question, on a calculé, en partant d'un modèle préconçu de quantification et de répartition de la pluviosité, la fréquence des années favorables à la végétation et celle des années sèches. Une année est considérée favorable au cas où la pluviométrie, de part sa quantité et sa répartition, dispose au niveau du sol d'une humidité suffisante permettant d'assurer la germination des semences, l'accroissement des jeunes plantes et la croissance régulière des plantes adultes jusqu'à l'accomplissement de leur cycle reproductif. Partant de cette définition on admet qu'une année est favorable si :

- La pluviosité est supérieure ou égale à la moyenne interannuelle de la zone considérée;
- les maximums pluviométriques se produisent en automne et au printemps;
- la quantité précipitée s'étale sur une longue période de l'année. La répartition des précipitations est plus intéressante à considérer que leur quantité. Une pluie automnale précoce favorise la germination des semis et le démarrage du cycle végétatif après une période de repos estivale, d'autant plus que la température ambiante est favorable. De même, les pluies tardives de printemps permettent aux nouvelles plantules d'aborder la période sèche estivale dans un état d'autodéfense.

Pour appréhender d'une manière encore plus précise ce qu'il convient d'appeler année favorable, il fallait quantifier la première pluie automnale nécessaire et suffisante pour activer le démarrage végétatif et préciser le seuil minimal de pluie journalière au dessus duquel la pluviosité est jugée efficace pour la végétation.

Le Houérou (1969) a introduit la notion de pluviosité efficace, qui reflète la quantité d'eau mise à la disposition de la végétation. En admettant que les pluies inférieures à 10 mm en 24 heures sont de peu d'efficacité, parce que cette eau est rapidement reprise par l'évaporation, il conclut que l'efficacité des pluies est inférieure à 50% dans l'étage bioclimatique aride supérieur et à 40% dans les étages aride inférieur et saharien supérieur.

Floret et Pontanier (1982) adoptent comme début de la période de pluie en Tunisie présaharienne, la première pluie journalière, au moins égale à 10mm, tombée après le 1^{er} septembre et comme fin de pluie, la dernière pluie journalière, au moins égale à 10 mm, tombée avant le 31 mai.

La norme minimale, estimée à 10 mm, pour activer le démarrage du cycle végétatif paraît être en dessous des exigences de la plupart des espèces naturelles. Il est vrai que certaines espèces (*Erodium glaucophyllum*, *Peganum harmala* etc.) peuvent démarrer leur cycle, indépendamment de la pluviométrie automnale, par report d'humidité de l'année écoulée (Ferchichi *et al.*, 1991), néanmoins une pluie de 12,5 mm, survenue en octobre 1993 à EL Fjé (Médenine), a été sans effet sur le démarrage végétatif des plantes. De même, l'émergence de certaines espèces autochtones de la Tunisie présaharienne, semées en conditions expérimentales par Ferchichi et Neffati (1992) n'a pu s'accomplir qu'après une pluie automnale d'environ 20 mm.

Le début de la période de pluie peut donc être défini comme la première pluie journalière automnale au moins égale à 20 mm. L'efficacité des précipitations inférieures à 20 mm dépend de leur situation par rapport à l'ensemble des événements pluviométriques de l'année.

Les caractères généraux de l'année favorable étant ainsi définis, nous reproduisons dans le tableau 4, pour chacune des stations étudiées le pourcentage, calculé sur 90 années, des années favorables à la végétation et des années exceptionnellement sèches et pluvieuses. Notons qu'une année est considérée exceptionnellement sèche quand la moyenne pluviométrique est inférieure à 50% de la pluviométrie moyenne annuelle. Elle est exceptionnellement pluvieuse quand cette moyenne dépasse de 50% la pluviométrie moyenne annuelle.

Tableau 4 : Fréquence des années favorables à la végétation, exceptionnellement pluvieuses, exceptionnellement sèches et intermédiaire pour les différentes stations étudiées.

	% des années favorables	% des années exceptionnellement sèches	% des années exceptionnellement pluvieuses	% des années intermédiaires
Sidi bouzid	40	8	18	52
Sfax	26	10	12	64
Gafsa	28	13	8	59
Tozeur	15	17	12	68
Kébili	14	21	8	75
Gabès	26	13	20	61
Jerba	25	7	12	68
Médenine	21	17	13	62
Ben Gardane	25	17	2	58
Tataouine	16	15	3	69

D'après ce tableau des fréquences, le pourcentage des années favorables est supérieur à celui des années sèches pour toutes les stations situées en bioclimat aride (Sidi Bouzid, Sfax, Gabès, Gafsa, Médenine, Jerba, Ben Gardane). Ces fréquences sont presque égales dans l'étage bioclimatique saharien.

En bioclimat aride la végétation bénéficie de 25 à 40% d'années favorables, 10 à 15% d'années sèches et de 50 à 65% d'années intermédiaires (années sans incidence positive ou négative sur la végétation). En bioclimat saharien les fréquences sont de 15 % d'années favorables, 15 à 20 % d'années sèches et de 65 à 70 % d'années intermédiaires.

Théoriquement donc, on peut légitimement admettre que la pluviosité en Tunisie présaharienne ne constitue pas un facteur limitant à l'évolution progressive des groupements végétaux. Bien au contraire le régime des pluies dans l'étage bioclimatique aride peut favoriser la croissance, la reproduction et la régénération des espèces et groupements végétaux.

2 Le régime thermique

Le facteur thermique a une influence capitale sur le comportement des organismes par le contrôle qu'il exerce sur l'ensemble des processus vitaux. La croissance, l'activité végétative, la reproduction sont étroitement dépendantes de la température. L'influence de la température sur les végétaux s'exerce selon diverses modalités :

- la vitesse des réactions chimiques qui change avec la température;
- l'activité des enzymes qui augmente habituellement avec la température;
- la température influence sur les phénomènes physiques de solubilité et de viscosité des liquides, de perméabilité de cytoplasme et en conséquence sur la vitesse des échanges internes et avec le milieu;
- les températures basses ou élevées peuvent provoquer des altérations physiques et mécaniques.

Les espèces végétales sont plus sensibles aux températures minimales de la saison froide et aux températures maximales de la saison chaude et par conséquent à l'amplitude de leurs oscillations. En plus ce sont ces éléments qui caractérisent le mieux le régime thermique en un lieu donné.

Le tableau 5 récapitule, pour certaines stations, les informations concernant la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M), la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et l'amplitude thermique (M-m)

Tableau 5 : Régime thermique de quelques stations de la Tunisie présaharienne (extrait des travaux d'EL Hamrouni, 1994).

Stations	M (°C)	m (°C)	M - m (°C)
Sfax	31,0	6,5	24,5
Gafsa	37,9	3,8	34,1
Tozeur	40,3	5,3	35,0
Kébili	42,2	3,1	39,1
Gabès	32,5	5,9	26,6
Médenine	36,7	6,2	30,5
Jerba	32,7	8,4	24,3
Ben Gardane	35,8	4,2	31,6
Tataouine	37,9	4,8	33,1

Les valeurs de ce tableau montrent que :

- la température moyenne annuelle se situe aux alentours de 19°C sur le littoral. Elle dépasse 20°C au Sud et à l'Ouest de la Tunisie présaharienne;
- la moyenne des minima du mois le plus froid est comprise entre 3 et 5°C dans les basses plaines méridionales, le Nefzaoua et le Jérid. Sur le littoral, cette moyenne est de 6 à 8°C. Elle se situe entre 4 et 6°C dans le reste de la Tunisie présaharienne.
- la moyenne des maxima du mois le plus chaud dépasse 40°C à Kébili et Tozeur. Sur la côte, elle est d'environ 32°C. Elle est comprise entre 35 à 37°C sur le reste du territoire.
- le littoral (Sfax, Gabès, Jerba) bénéficie d'une amplitude maximale assez faible (entre 24 et 26°C) en raison de l'influence modératrice de la mer. Au contraire, la zone continentale accuse des amplitudes maximales trop élevées (34 à 39°C), alors que le reste de la Tunisie présaharienne présente des amplitudes intermédiaires (30 à 33°C).

3 Evapotranspiration et bilan hydrique

L'évapotranspiration, qui constitue une caractéristique fondamentale du climat, représente le cumul de l'évaporation du sol et la transpiration des plantes. Cette notion permet de mieux interpréter l'incidence de la sécheresse sur la production des végétaux.

L'évapotranspiration est certes étroitement liée aux facteurs du climat (radiation solaire, température, vent etc.), mais elle dépend aussi de l'environnement naturel de la région étudiée, des espèces végétales concernées et des propriétés pédologiques.

Climatologues, bioclimatologues, hydrologues, agronomes et sylviculteurs ont élaboré de nombreux indices et formules pour caractériser et évaluer l'évapotranspiration. Marty (1970) a fait une étude exhaustive des méthodes d'évaluation du bilan d'eau en agriculture où il a précisé le concept de l'évapotranspiration et les conditions d'application de ses diverses formules. Seguin (1975) et Hammami (1990) ont fait une comparaison de l'application de ces différentes formules en climat méditerranéen. Aussenac (1972) et M'hirit (1982) ont respectivement étudié l'évapotranspiration réelle (E.T.R) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur des peuplements forestiers.

3.1 L'évapotranspiration potentielle (E.T.P)

L'évapotranspiration potentielle est la consommation maximale d'eau d'un couvert végétal actif, dense et étendu sur une grande surface et bien alimenté en eau. Elle correspond au maximum du pouvoir évaporant de l'air (Gerbier et Brochet, 1975).

Plusieurs formules ont été élaborées pour l'évaluation de l'E.T.P par Thornthwaite (1944), Penman (1948), Turc (1961), De Villèle (1965), Espinar etc.

Les calculs de l'ETP, évalués par quatre formules différentes, pour quelques stations de la Tunisie présaharienne montrent (tableau 6) que la valeur minimale se produit généralement en décembre. Le maximum est atteint en Juillet. L'écart entre le maximum estival et le minimum hivernal est aux alentours de 163 mm à Sfax, 215 mm à Gafsa, 141 mm à Gabès, 183 mm à Médenine et 210 mm à Tozeur.

Tableau 6 : Comparaison des valeurs de l'évapotranspiration potentielle pour cinq stations de la Tunisie présaharienne. Formule de Turc, Espinar, Thornthwaite et Penman (d'après Hammami, 1990).

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Tot.
Sfax	125	87	58	46	47	58	94	107	146	175	209	172	1247
	122	77	49	37	40	49	78	109	190	187	203	168	1310
	123	93	51	28	23	25	42	63	100	130	166	162	1006
	119	87	54	44	47	58	90	102	142	171	205	168	1282
Gafsa	146	123	59	43	45	59	96	133	158	207	254	212	1536
	138	81	51	34	38	51	86	133	198	248	263	229	1547
	126	83	42	19	21	28	41	78	119	157	170	161	1045
	140	118	54	41	41	53	92	126	151	200	250	204	1517
Gabès	139	89	68	53	60	72	100	131	157	166	190	202	1427
	131	95	64	45	48	63	100	123	172	186	199	180	1406
	132	97	55	26	25	30	48	85	117	132	168	160	1074
	136	88	67	49	55	69	100	90	156	166	188	201	1401
Médénine	137	101	69	53	57	81	108	142	179	197	237	207	1568
	118	85	60	43	44	62	90	134	192	196	226	184	1435
	132	102	47	29	25	35	50	82	134	155	170	160	1112
	132	95	65	49	53	77	103	135	174	189	231	199	1504
Tozeur	144	99	64	53	50	72	119	149	180	199	253	226	1609
	142	96	55	40	38	54	100	157	205	188	275	232	1688
	137	106	54	24	22	31	48	97	135	135	170	160	1139
	140	91	60	48	45	68	113	143	183	197	245	218	1541

3.2 Bilan hydrique global

3.2.1 Bilan climatique

Le bilan climatique est défini par l'égalité $D = \sum (P - I) - ETP$ où P désigne les précipitations mensuelles moyennes et I désigne l'interception de la pluie par les plantes, re-évaporée directement dans l'atmosphère. On considère que I est nul étant donné le faible recouvrement végétal en zones arides.

Dans le tableau 7 sont reportées les valeurs de cet indice pour quelques stations de la Tunisie présaharienne. D'une façon générale, le bilan est toujours déficitaire. La pluviométrie n'excède l'évapotranspiration potentielle que dans de rares exceptions (octobre pour Sfax, octobre et décembre pour Gabès et décembre pour Médénine)

Tableau 7 : Bilan climatique global (P - ETP Thornthwaite), calculé pour quelques stations de la Tunisie présaharienne.(moyenne pour la période 1982-1985)

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Août	Tot.
Sfax	-110	51	-11	-19	-12	-16	-32	-57	-96	-126	-166	-162	-756
Gafsa	-107	-53	-40	-12	-4	-16	-17	-53	-86	-119	-168	-159	-834
Gabès	-127	5	-33	24	-18	-20	-15	-78	-111	-128	-168	-160	-829
Médénine	-124	-28	-43	5	-16	-22	-33	-77	-130	-151	-170	-160	-949
Tozeur	-134	-88	-28	-7	-13	-24	-36	-96	-122	-128	-170	-160	-1006

3.2.2 L'évapotranspiration réelle (ETR)

la valeur de l'ETR dépend de la quantité d'eau disponible pour les plantes. Quand le sol est saturé en eau et que cette eau est disponible, l'évapotranspiration réelle peut atteindre les valeurs de l'évapotranspiration potentielle.

D'après Gerbier et Brochet (1975), le rapport ETR/ETP se présente comme un indice climatique qui tend vers l'unité en région humide (Zone équatoriale) et qui tend vers zéro en zone sèche désertique.

Dans l'ensemble des stations étudiées, en Tunisie présaharienne, le cycle de l'eau se développe suivant trois phases :

Phase 1: Les réserves du sol commencent à se constituer dès les premières pluies d'automne. Le démarrage de la végétation dépend de la rapidité avec laquelle les réserves se constituent. Durant cette phase qui s'étend approximativement des premières pluies d'automne jusqu'en février-mars, $ETR = P + RU$. Il arrive, compte tenu des irrégularités des précipitations, que certains mois de cette phase soient excédentaires. L'évapotranspiration réelle est alors égale à l'évapotranspiration potentielle ($ETR = ETP$), la production de matière verte, n'étant pas limitée par le déficit hydrique, est à son maximum.

Phase 2: C'est une phase post-humide où les réserves du sol commencent à s'épuiser. Au cours de cette période, il y a intervention de la régulation stomatique et par conséquent réduction de la production de matière verte. L'évapotranspiration réelle est alors égale à la pluviométrie ($ETR = P$).

Phase 3: C'est la phase de sécheresse estivale. Les précipitations sont nulles. Le bilan climatique est largement déficitaire. Les plantes réduisent leurs surfaces d'échanges et ferment leurs stomates. La production de matière verte est nulle. L'évapotranspiration réelle, qui est égale à la pluviométrie, s'annule à son tour.

D'une façon générale, le cycle de l'eau en Tunisie présaharienne montre que la croissance des végétaux est discontinue et d'un caractère aléatoire. L'influence du caractère irrégulier et sporadique des précipitations sur la végétation est très marquée.

4 Expression de la moyenne annuelle de l'humidité climatique

L'établissement d'une expression mathématique des degrés d'humidité et d'aridité a préoccupé plusieurs spécialistes. De nombreuses formules ont été proposées par Transeau (1905), Thornthwaite (1931), De Martonne (1926), Emberger (1945), Budyko (1974) etc. Elles consistent généralement à établir un bilan de l'eau apportée au sol par précipitation et celle susceptible d'être perdue par évaporation et transpiration.

En appliquant l'indice Q_2 d'Emberger pour les données météorologiques de la Tunisie présaharienne Le Houérou (1959, 1969), a pu distinguer théoriquement 4 sous-étages climatiques et 4 variantes hivernales. (Les subdivisions des étages arides et sahariens en sous-étages inférieur et supérieur ont été établies selon les valeurs de la pluviométrie; les variantes sont établies selon les valeurs de m).

Tableau 8 : Nuances climatiques représentées en Tunisie présaharienne (d'après Le Houérou, 1959, 1969).

	Aride supérieur	Aride inférieur	Saharien supérieur	Saharien inférieur
variante chaude	+	+	-	-
variante douce	+	+	+	-
variante tempérée	+	+	+	+
variante fraîche	+	+	-	-

(+) Bioclimat représenté.

Les valeurs de quelques indices de quantification de l'aridité climatique, appliqués aux données météorologiques de la Tunisie présaharienne sont reproduites dans le tableau 9.

Tableau 9 : Valeurs de certains indices d'aridité climatiques calculées d'après les données météorologiques de quelques stations de la Tunisie présaharienne.

Station	Q_2 (Emberger)	P/ETP (UNESCO)	P/E (Iranseau)	P/T (Lang)
Sfax	30,0	0,23	0,17	10,7
Gafsa	16,2	0,12	0,07	8,7
Tozeur	9,6	0,07	0,05	4,2
Kébili	8,4	-	-	4,2
Gabès	24,3	0,16	0,11	9,7
Médenine	16,9	0,11	0,08	7,1
Jerba	30,8	0,15	-	10,3
Ben Gardane	19,5	-	-	9,0
Tataouine	12,2	-	-	6,3

5 Expression de la variation de l'humidité climatique dans le cycle annuel (Période de sécheresse)

Les indices annuels ne renseignent pas sur la répartition de l'humidité au cours de l'année qui est en fait plus intéressante à considérer. Divers auteurs se sont appliqués à caractériser les périodes de sécheresse en recherchant le rapport critique de la précipitation à la température au dessous duquel le bilan d'eau des plantes devient déficitaire.

Devant la difficulté de définir rationnellement ce qui est une période sèche, différentes relations ont été proposées par Giacobbé (1949, 1959), Emberger (1954), Andrews et Mazé (1933) Sagetta (1935), Bagnouls et Gausson (1953, 1957), Aubréville (1949), Thornthwaite (1948).

L'application des différents indices pour les données climatiques des stations de la Tunisie présaharienne donne, à quelques exceptions près, environ 12 mois secs.

Tableau 10 : valeurs de certains indices de sécheresse appliqués aux données climatiques de quelques stations de la Tunisie présaharienne.

Stations	Ix(Bagnouls et Gausson) (nombre de jours secs)	P<ETP (Thornthwaite) (mois secs)	P<2T (Bagnouls et Gausson) (mois secs)	P<30mm (Aubreville) (mois secs)
Sfax	-	11	11	11
Gafsa	298	11	12	12
Tozeur	336	12	12	12
Kébili	-	12	12	12
Gabès	266	11	12	12
Médenine	-	12	12	12
Jerba	190	10	11	10
Ben Gardane	-	12	12	12
Tataouine	-	12	12	12

6 Synthèse et conclusion sur le climat de la Tunisie présaharienne (proposition d'un indice de la répartition de la pluviométrie)

Le climat de la Tunisie présaharienne se caractérise par une pluviométrie faible (inférieur à 200 mm/an), irrégulière et sporadique (Le coefficient de variation dépasse 50%). L'analyse fréquentielle du régime mensuel des précipitations montre qu'à l'exception de l'été, chaque mois de l'année pourrait être suffisamment pluvieux une année sur quatre. L'analyse des fréquences des années favorables à la végétation a également montré que le régime annuel des précipitations en étage bioclimatique aride est favorable à la régénération des espèces et groupements végétaux.

L'application des indices d'expression de l'humidité climatique pour les données météorologiques des différentes régions naturelles de la Tunisie présaharienne ne révèle aucune particularité sauf que le bilan climatique est déficitaire durant tous les mois de l'année. Certes, ces indices permettent une caractérisation des milieux à climat aride ou désertique par rapport à d'autres types de climats mais ne permettent pas une différenciation au sein des climats arides.

Le Houérou (1959, 1969) a bien pensé à ce problème et a subdivisé les étages de végétation méditerranéen aride et saharien définis par Emberger (1945) en sous-étages supérieur et inférieur en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle. Mais, en milieu aride la répartition de la pluviométrie est plus importante à considérer que le cumul annuel. Il est peu important à une végétation de recevoir une quantité quelconque de pluie par an si la répartition de cette pluviosité ne satisfait pas ses exigences saisonnières lesquelles sont en rapport avec son cycle biologique.

C'est en définitive la répartition de la pluie qui joue le rôle capital dans la dynamique, l'évolution, la continuité et la régénération de la végétation en milieu aride. C'est ce fait qui intéresse le plus notre étude. D'ailleurs, au terme de son article sur l'utilisation du quotient pluviométrique, Emberger (1945) conclut que sa formule est sujette à des rectifications et qu'il y aura lieu de tenir compte du nombre de jours de pluie.

Il est donc plus utile de subdiviser les étages bioclimatiques aride et saharien en nuances en tenant compte de la quantité d'eau précipitée, de sa répartition le long d'une année ou d'un cycle saisonnier et de sa variabilité. Nous avons défini précédemment la pluviosité efficace comme la quantité d'eau minimale apte à activer la vie

végétale. En combinant ce critère à la variabilité de la pluviométrie, il est possible de caractériser la répartition pluviométrique dans les étages bioclimatiques méditerranéen aride et saharien.

Ainsi, pour caractériser la répartition de la pluviométrie en rapport avec la dynamique de la végétation, nous proposons un indice de répartition annuelle de la pluviosité. Cet indice de la forme I_{rp} peut être défini comme suit :

$$I_{rp} = (MP_e \times 1/CV\%) \times 100$$

MP_e = nombre de mois de l'année où la quantité de pluie est égale ou supérieure à la pluie efficace.

CV% : Coefficient de variation annuelle des précipitations.

Reste à déterminer de façon précise la pluviosité efficace. La réponse des plantes aux précipitations diffère en fonction de leurs exigences hydriques. Mais, d'après nos observations on conçoit qu'une pluviosité efficace doit se situer entre 15 et 20 mm/mois. En dessous de cette limite la pluie n'a aucune incidence sur la végétation.

Le tableau 11 donne les valeurs de cet indice pour 10 stations de la Tunisie présaharienne.

Tableau 11 : caractéristiques de la répartition de la pluviométrie en Tunisie présaharienne (valeurs du coefficient de variation, de nombre de mois à pluviosité efficace et de l'indice de répartition de la pluie).

	MPe	CV (%)	Irp
Sidi Bouzid	9	52	17,3
Gafsa	6	45	13,1
Sfax	8	38	21,0
Tozeur	3	45	6,6
Kébili	3	55	5,4
Gabès	7	51	13,7
Jerba	7	52	13,4
Zarzis	7	56	12,5
Médenine	6	54	11,0
Ben Gardane	6	52	11,5
Tataouine	4	51	6,0

A la base des ces données, les nuances peuvent être définies comme suit :

$I_{rp} > 20$: La répartition est très favorable à la végétation.

$15 < I_{rp} < 20$: La répartition est favorable la végétation.

$10 < I_{rp} < 15$: La répartition est peu favorable ou sans incidence négative sur la végétation.

$I_{rp} < 10$: La répartition est défavorable à la végétation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubrèville A., 1949, *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Société d'éditions géographique, Maritime et Coloniale, Paris, 350 p.
- Aussenac G., 1972, Etude de l'évapotranspiration réelle de quatre peuplements forestiers dans l'Est de la France. *ANN. SCI. FOREST.*, 29 (3), 369-389.
- Bagnouls F., Gaussen H., 1953, *Saison sèche et indice xéothermique*. *Docum. Carte prod. Végét.*, 8, 47 p.
- Bagnouls F., Gaussen H., 1957, Les climats biologiques et leur classification. *ANNALES DE GEOG.*, 66, 193-220.
- Ben Dakhli F., 1995, Caractéristiques générales du climat de la Tunisie, p. 63-90, in Nabli et al., *Essai de Synthèse sur la végétation et la phytoécologie tunisiennes, II et III, le milieu physique et la végétation, écologie végétale appliquée*, Tunis, 542p
- Budyko M.I., 1974, *climate and life*. Acad. Press., N.Y., 608 p.
- Dagnelie P., 1973, *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques, Vol 1, la statistique descriptive et les fondements de l'inférence statistique*, Presses Agronomiques de Gembloux, 378 p.
- De Martone E., 1926, L'indice d'aridité. *BULL. ASS.GEOG. FRANCE*, n°8.
- De Villèle O., 1965, Cinq années d'expérimentation sur les besoins en eau des cultures. *BULL TECH. INST. NAT. RECH. AGR. DE TUNIS.*, n°11.

- Despois J., 1955, *La Tunisie Orientale. Sahel et basses steppes*. PUF, Paris, 554 p.
- El Hamrouni A., 1994, Végétation forestière et préforestière de la Tunisie. Typologie et éléments pour la gestion. *REVUE DES REGIONS ARIDES*, 6/94, 1-299.
- Emberger L., 1945, 1954, Une classification biologique des climats. *RECUEIL DES TRAV. DE LAB. DE BOT. GEOL. ET ZOOL. SERIE BOT.*, Fasc. 7, 3-43. Article discuté en 1954 au Congrès international de Botanique de Paris.
- Emberger L., 1971, *Travaux de Botanique et d'Ecologie*. Masson et Cie. Paris, 520 p.
- Ferchichi A. et Neffati M., 1992, Essai de resemis d'espèces pastorales autochtones en Tunisie centrale. *ECOLOGIA MEDITERRANEA*, XVIII, 25-30.
- Ferchichi A., Neffati M. & Le Floc'h E., 1991, Comportement comparé d'espèces pastorales de diverses provenances de la zone aride tunisienne installées en pastoretum, p 364-367, in C.C.I.R.A.D., *Proceeding of the IVth Internat. Rangeland Congress, Montpellier-France*.
- Floret Ch. et Pontanier R., 1982, *L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement*. Travaux et documents de l'ORSTOM, n°150, 544 p.
- Gerbier N. et Brochet P., 1975, L'évapotranspiration. *MONOGRAPHIE DE LA METEOROLOGIE*, 65.
- Giacobbé A., 1949, *Le basi concrete par una classific. ecolog. della veget. Italiana*, Forli, 188p.
- Giacobbé A., 1959, Nouvelles recherches écologiques sur l'aridité dans les pays de la Méditerranée Occidentale. *NATURALIA MONSPELIENSIS, SERIE BOT.*, 2, 7-24.
- Hammami O., 1990, Variation de l'évapotranspiration potentielle. Bilan de l'eau climatique et agroclimatique en Tunisie. *LA METEOROLOGIE*, 32, 6-13.
- Le Houérou H.N., 1959, *Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale*. Inst. de Rech. Sah. Alger, 510 p.
- Le Houérou H.N., 1969, La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie de Lybie et du Maroc). *ANN. INST. NAT. RECH. AGRON. TUNISIE*, 42(5), 1-624 et 1 carte couleur 1/500.000.
- M'hirit O., 1982, Etude écologique et forestière des cedraies du Rif Marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. *ANNALES DE LA RECHERCHE FORESTIERE AU MAROC*, 22, 1-502.
- Marty J.R., 1970, Les méthodes d'évaluation du bilan de l'eau en agriculture. *BULL. ASS. SCIEN. SOL.*, (1), 31-39 et (2), 3-17.
- Peguy Ch. P., 1970, *Précis de climatologie*. Masson et Cie, Paris, 468 p. (2^{ème} édit.).
- Penman H.L., 1948, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *PROC. RAY. SOC. LONDON*, Serie A, 193, 120-145.
- Sagetta H., 1935, Terminologie climatique et microclimatologique. *LA METEOROLOGIE*.
- Seguin B., 1975, Etude comparée des méthodes d'estimation d'ETP en climat méditerranéen du Sud de la France (Région d'Avignon). *ANN. AGRON.*, 28 (6), 671-691.
- Thornthwaite C.W., 1931, The climates of North America according to a new classification. *THE GEOG. REV.*, 21.
- Thornthwaite C.W., 1944, Report of the committee on transpiration and evaporation. *TRANS. AM. GEOPH. UNION*, Vol 25, V, 683-693.
- Thornthwaite C.W., 1948, An approach toward a rational classification of climate. *THE GEOG. REV.*, 38, 55-94.
- Transeau E., 1905, Forest centers of Eastern America. *THE AM. NATURAL.*, 39.
- Turc L., 1961, Evolution des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle formule climatique simplifiée et mise à jour. *ANN. AGR.*, 12 (13), 13-49.
- Zaafouri M.S., 1993, *Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne*. IRA Médenine, ORSTOM Paris, CEPE Montpellier, 200 p.

ETAT ET BILAN DES TERRES AGRICOLES EN TUNISIE (DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS A ENTREPRENDRE)

A. MTIMET
Direction des Sols - 30 rue A. Savary
Tél. 700 940 fax 718 208

RESUME

De tous les temps les civilisations humaines ont utilisé le sol sous différentes formes, matériau pour la construction, infrastructures, routes, pistes, espace industriel mais surtout en agriculture : cultures, forêts, élevage. Il va de soi que cet élément essentiel avec l'eau dans la vie des hommes, reste inconnu par ses utilisateurs subit en continu une dégradation à la fois lente et accélérée au cours des vingt dernières années. C'est dans ce nouveau contexte que nous situons notre étude qui permet dans une large mesure de faire le point sur les ressources en sols de la Tunisie, et de montrer les tendances actuelles en système pluvial et irrigué des terres. Elle présente également l'intérêt de l'approche écosystémique dans la gestion des ressources en sols en milieux arides et semi-arides.

Mots clés : Cartographie sol, terres agricoles, Tunisie, écosystèmes arides et semi-arides.

SUMMARY

Human civilisations have always used the soil for different objectives : building, substructures, roads, tracks, industrial space, but especially for agriculture (crops, forests, breeding). It goes without saying that the soil - as water - is an essential element for human life, it remains however unknown and continues to be subjected, in the last twenty years, to a slow and accelerated degradation. It is in this new context that we set our study, which, to a large extent, reviews the situation as concerns the soil resources in Tunisia and shows the current tendencies in irrigated and rainfed land systems. It also presents the significance of the ecosystemic approach to the management of soil resources in arid and semi-arid environments.

Key words : soil cartography, agricultural soils, Tunisia, arid and semi-arid ecosystems.

1- Contexte général et état des ressources en sols

De tous les temps les civilisations humaines ont utilisé le sol sous différentes formes, matériau pour la construction, infrastructures, routes, pistes, espace industriel mais surtout en agriculture : culture, forêts, élevage. Il va de soi que cet élément essentiel avec l'eau dans la vie des hommes, reste inconnu par ses utilisateurs et subit en continu une dégradation à la fois lente et accélérée au cours des vingt dernières années. L'Agenda 21, suite au sommet de Rio 1992, a mis l'accent sur cet état de la dégradation des terres, l'accroissement démographique et la mauvaise utilisation ; il a consacré une attention particulière à cette ressource difficilement renouvelable dans les zones sèches et arides de la planète.

En effet, la Tunisie dont la superficie est de 16,4 millions d'ha montre un potentiel de 4,5 millions d'ha de terres agricoles avec 3,5 millions d'ha réellement cultivés. Pays à la fois méditerranéen et saharien, les ressources en sol dénotent l'importance des caractères hérités des paléoclimats du quaternaire (ancien, moyen et récent) revêtement de pente drapant les versants, éléments grossiers et vallées assez larges dus à des conditions de climat contrasté. Les glacis d'érosion au pied de talus du roche dure, par l'effet du ruissellement et la brutalité des averses, se développent du Nord au Sud mettant en valeur les influences lithologiques : marne, calcaire et croûte calcaro-gypseuse vers les zones méridionales.

Le façonnement des plaines de niveau de base suit l'écoulement assuré par les oueds d'Ouest en Est où le comblement en éléments fins (sableux, limoneux et argileux) constitue les terres arables les plus étendues quand elles ne sont pas affectées par les sels ou la formation de marécages où les eaux d'inondation s'accroissent : édification de plaines de niveau de base qui exige des travaux importants de drainage (Medjerda, Kairouan).

Le modelé dunaire apparaît autour des oasis continentales et prend de l'ampleur au niveau de l'Erg Oriental du Sud Ouest.

2- Distribution et examen de la situation

La répartition des sols suivant les zones bioclimatiques et les compartiments morpho-pédologiques permettent de dégager le cortège suivant (tableau 1-2-3) :

- collines et glacis occupés par l'arboriculture et steppes dégradées,
- monts forestiers, parcours cloisonnés, garrigues,
- plaines céréalières et arboricoles.

Tableau 1 : Les surfaces des études aux différentes échelles

Échelles	Surfaces en (ha)
1- 1/200 000	155.955,6
2- 1/100 000	4.257.135,5
3- 1/50 000	2.495.374
4- 1/12 000	441.520
5- 1/20 000	171.830
6- 1/50 000 sur 1/100 000	312.151
7- 1/25 000 sur 1/50 000	423.544
8- Zones non couvertes	4.391.125
	Erg ≈ 2.000.000
	Chotts ≈ 800 000

50 % du territoire sont étudiés.

Tableau 2 : Répartition des différentes unités

Unité de Sol	Surfaces total Unité (a)	Potentiel *	Terres arables	Terres arables
		des terres arables (ha) (b) (Ha)	surface total le pays % b/T	rapport aux unités % b/a
- Lithosols	2.169.945	-	0	0
- Sols peu évolués et alluviaux régosols entisols, yermosols, fluvisols	2.179.865	1.264.320	7,7	57,9
- Sols calcimagnési- morphes (xerosols)	2.395.023	1.049.400	6,3	43,6
Vertisol	710.000	473.000	1,5	66
- Sols bruns avec association (cambi- sols - luvisols)	3.267.000	813.300	5,0	22,4
- Sols rouges et châtains (cambisols)	90.345	49.600	0,1	55
- Sols salés et hydro- morphes (Solonetz, gleysols)	1.510.813	145.000	0,9	9
Total	12.706.527	3.792.820	21,5	-

3- Comment apparait la régionalisation pédologique en Tunisie (vocation et aptitude) ?

Parant des principaux facteurs physico-chimiques du sol, à savoir la texture, la profondeur et la matière organique en l'absence de contraintes telles que la pente, la salure, les éléments grossiers, le sol reste dépendant des données climatiques et principalement des précipitations. Son utilisation en sec est liée à la réserve hydrique et suit par conséquent les principaux étages bioclimatiques.

* **Le Nord**, avec 3 étages bioclimatiques, renferme les principaux sols fertiles de la Tunisie où se développe principalement :

* le croissant céréalière (Béjà, Jendouba, Le Kef, Siliana, Bizerte)

* l'arboriculture fruitière : surtout agrumes, vignoble et oliviers.

* **le Centre** à bioclimat aride mais qui subit les influences maritimes littorales montre l'importance de l'olivier et des arbres fruitiers mais aussi des steppes sur des sols profonds avec une texture à dominante sableuse.

* **Au Sud** de l'isohyète de 200 mm (ligne Sfax-Gafsa), la nature des sols est étroitement liée aux données géomorphologiques (collines, plateaux, dépressions et plaines littorales). Les sols les mieux appropriés pour l'aridoculture, sableux à sablo-limoneux, (arbres fruitiers et oliviers) bénéficient des influences littorales ou des aménagements hydrauliques (petite hydraulique - jessours) permettant à la fois de lutter contre l'érosion

* La partie Sud de Tataouine n'a pas été considérée (10 000 ha estimés cultivables).

hydrique au cours des années exceptionnelles ou d'avoir une supplémentation en eau dans le cas contraire. **La salure, l'hydromorphie, la présence des croûtes gypseuses et calcaires**, la mobilité des sables constituent les facteurs limitant pour le développement des sols et de l'agriculture en général ; le reste des surfaces sont des domaines d'anciens parcours à espèces adaptées au milieu :

- parcours à halophytes, salure élevée des sebkhas,
- parcours à *Rhanterium suaveolens*, *Aristida pungens* et *Artemisia campestris* des plateaux.

4- Le sol en voie de disparition : Problèmes globaux et dégradation

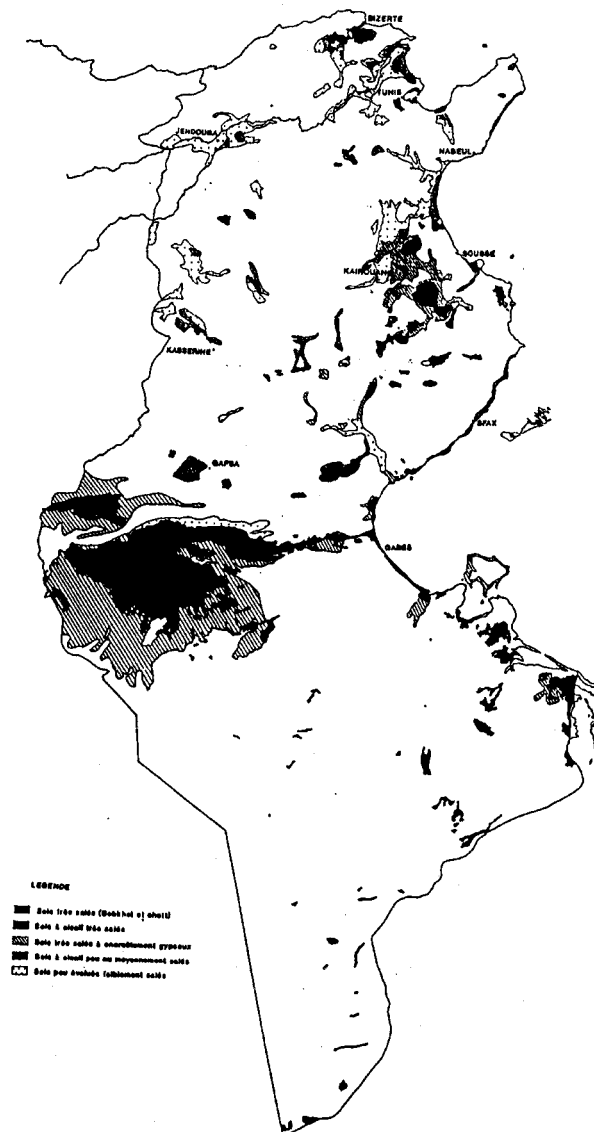
Ainsi malgré la sévérité des conditions climatiques, soit lors des pluies exceptionnelles, soit lors des années de sécheresse (importance de l'aridité), le facteur anthropique reste prédominant dans les principales perturbations des systèmes écologiques tunisiens.

- Avons-nous suffisamment de bonnes terres pour nourrir les 2,6 milliards de bouches (dont 5 millions pour la Tunisie) supplémentaires de notre planète en l'an 2025 ?

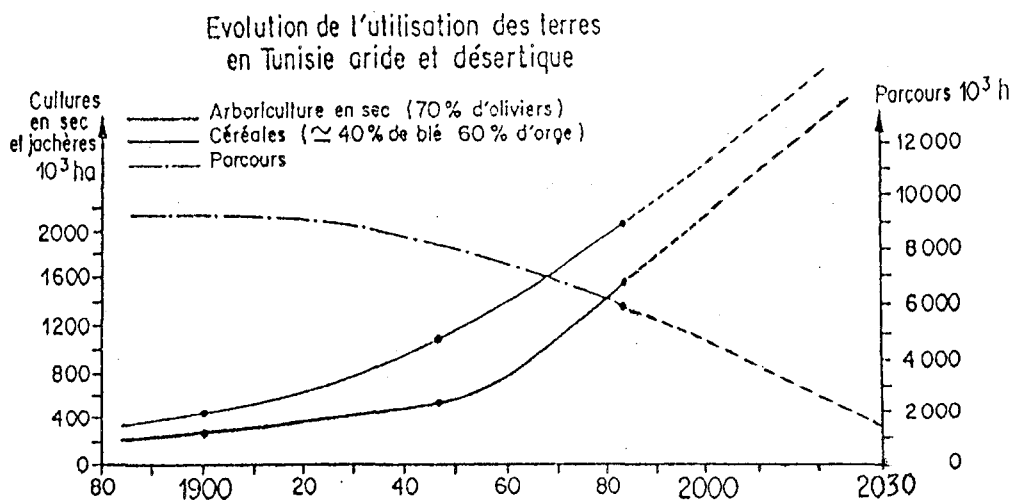
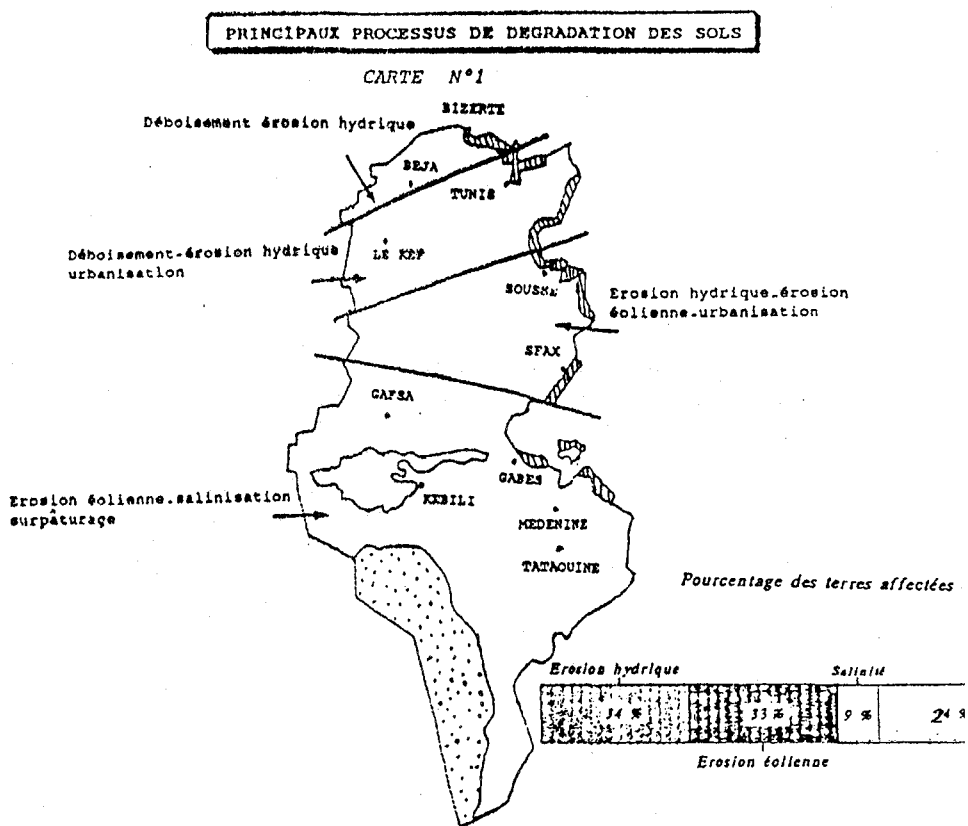
- Il est connu maintenant (datation à l'appui) qu'un sol se forme au rythme de 1 cm tous les 100 à 400 ans. Pour avoir 30-40 cm de terres arables il nous faut 3000 à 12000 ans ?...

- Pour la Tunisie et suite aux différentes études de synthèse, la perte en sol chaque année est estimée en moyenne à 23 000 ha.

Nous avons toujours raisonné sur un potentiel "stable" en surface agricole utile de 5 000 000 ha. C'est un chiffre qui date de 20 ans, et actuellement il n'est plus valable dans l'examen de nos stratégies futures. D'ici 30 ans nous aurons perdu plus de 700 000 ha de terres et un supplément démographique de 4,5 millions d'habitants.



LES SOLS SALES DE TUNISIE



5- Identification de scénarios pour une gestion durable des sols.

5.1- Rapport ressource/demande

5.1.1- Les sols fertiles (sans ontraintes) qui sont occupés actuellement (nous estimons que tous les sols fertiles existant sont exploités : surveillance - contrôle pour :

- limiter les dégâts
- augmenter leur potentiel de fertilité.
 - * sols de grandes cultures
 - * sols arboricoles
 - * les périmètres irrigués équipés et productifs
 - * les oasis

- * les sols forestiers et les parcours du Nord et du Centre Ouest.
- réhabiliter et sauvegarder.

5.1.2- Les sols moyennement fertiles (existence de certaines contraintes) physiques ou chimiques et vocation non appropriée pour les arbres, sols lourds, haute teneur de calcaire actif).

A- Sans aridité accentuée

- amélioration de la fertilité (par une bonne gestion des espaces)
- * meilleure attribution et vocation
- * techniques culturales appropriées
- * aménagements hydrauliques correctifs ou supplémentaires
- réforme foncière.

B- Avec aridité marquante

Nous ajoutons à ce qui précède les caractéristiques liées au climat et celles relatives à l'économique et au social (terres collectives). La préservation des parcours restant et la bonne gestion de terres contribuent à leur maintien au cours des années difficiles. Un parcours à sol aride pâturé d'une façon rationnelle assure la régénération continue des espèces et fournit des résidus pour améliorer le taux de l'humus et indirectement sa structure contre toute forme de dégradation. L'intervention de l'homme par les labours et la plantation inadéquate sur ces espaces favorise les processus de désertification et les cas sont nombreux : Tataouine (Ouara), Médenine (Sidi Touai), Gabès (Menzel Habib), Kébili (Régim Mâatoug).

Résultat :

- les ensablements spectaculaires (Jeffara)
- les plantations arboricoles chétives et non productives (Bir Lahmar aval environs Oudhreh).

5.1.3- Les sols à très faible potentiel agronomique : sols minéraux bruts, sur roche dure, encroûtement gypseux ou calcaire, colluvions de pente et alluvions grossières d'Oued, sols très salés, sols dunaires (Erg).

Ils sont considérés non cultivables et ne forment pas le support d'une quelconque végétation spontanée. Ils sont laissés en tant que tels. Cependant, une récupération de quelques superficies sous conditions d'investissement économique semble nécessaire dans les zones à forte pression humaine (Centre, Centre Est, Nord, Sud).

- sols pierreux des bioclimats du Nord (amélioration en parcours forestiers),
- sols pierreux des glacis encroûtés calcaires de la Tunisie centrale et méridionale : décrottage, sous solage et aménagements hydrauliques : arbustes fourragers, oliviers.

5.2- Identifier les données de base concernant la fertilité

Rares, voire inexistantes sont les études sur la fertilité chimique des sols tunisiens concernant aussi bien la matière organique que les éléments nutritifs majeurs et mineurs. De ce fait, il n'est pas possible de dresser actuellement un état même partiel de la fertilité chimique des sols en question. Tout au plus sait-on que les sols de texture fine sont naturellement riches en potassium et qu'il doit exister des grandes différences de richesse en cet élément entre les sols. La majorité des sols est pauvre en matière organique et les deux tiers au moins des sols céréaliers du Nord sont suffisamment pourvus en phosphore. Pour les micro-éléments, excepté le fer, rien ne peut être dit à ce sujet, les connaissances dans ce domaine sont pratiquement inexistantes.

En conséquence, étant donné l'intérêt et l'utilité d'une connaissance approfondie de la fertilité chimique des sols pour l'agriculture tunisienne et l'environnement, il importe d'entreprendre des travaux d'étude et de recherche dans ce domaine (moyen et long terme).

5.2.1- La fertilisation

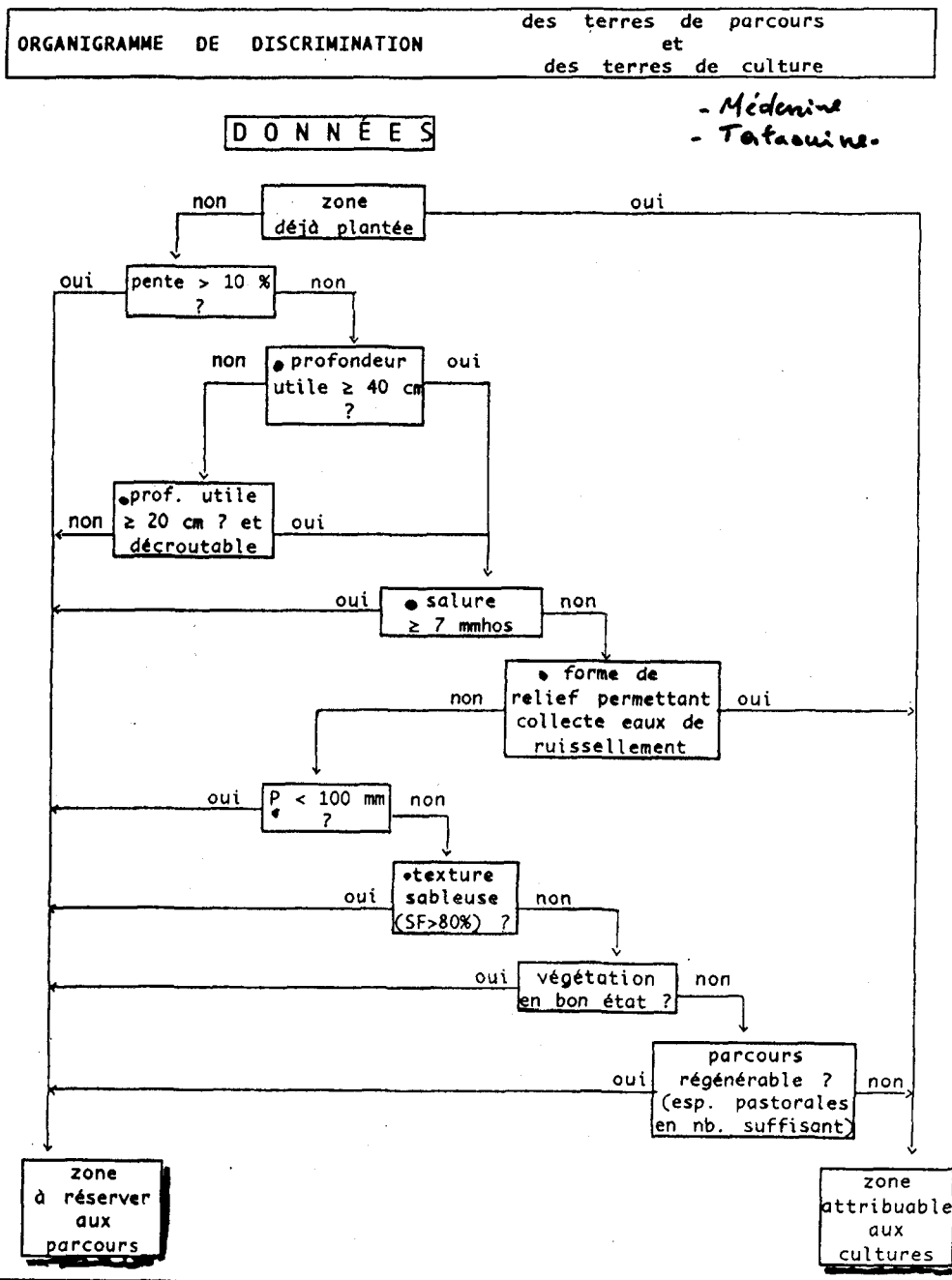
A- Les références fondées sur des travaux scientifiques plus ou moins récents, effectués en Tunisie, souffrent d'insuffisances majeures :

- elles ne tiennent pas compte d'éléments importants dont dépend la fertilisation, comme par exemple la richesse du sol (actuellement bien estimée par l'analyse, le type de sol, etc.). Elles sont donc peu précises et difficilement généralisables, leur utilisation est par conséquent très risquée.
- elles sont destinées à être utilisées dans des contextes différents du contexte actuel agricole, par exemple pour des variétés anciennes moins productrices ou n'ayant pas les mêmes exigences nutritives que les variétés actuellement utilisées.

B- Les références élaborées (ou inspirées de résultats obtenus) à l'étranger. Pour une culture donnée, les résultats des recherches en fertilisation dépendent de nombreux facteurs tels que la variété, le climat, le sol, la forme d'engrais, les pratiques culturales, etc ...

Cette carence très prononcée de notre banque de données en matière de fertilisation a été soulignée dans de nombreux ateliers organisés plus tard par ce même comité ont confirmé la gravité de cette carence.

Les programmes de recherche en fertilisation à entreprendre sont des programmes d'envergure et de long terme qui ne peuvent être réalisés en marge des activités de nos organismes de recherche (Direction des Sols, INAT, INRAT) où LE SOL, facteur capital de la fertilisation, n'est pas actuellement représenté.



Propositions A. MTIMET, R. ESCADAFAL et C. FLORET 1984
(Dir. des Sols - O.R.S.T.O.M. - C.N.R.S.)

5.2.2- La réserve hydrique

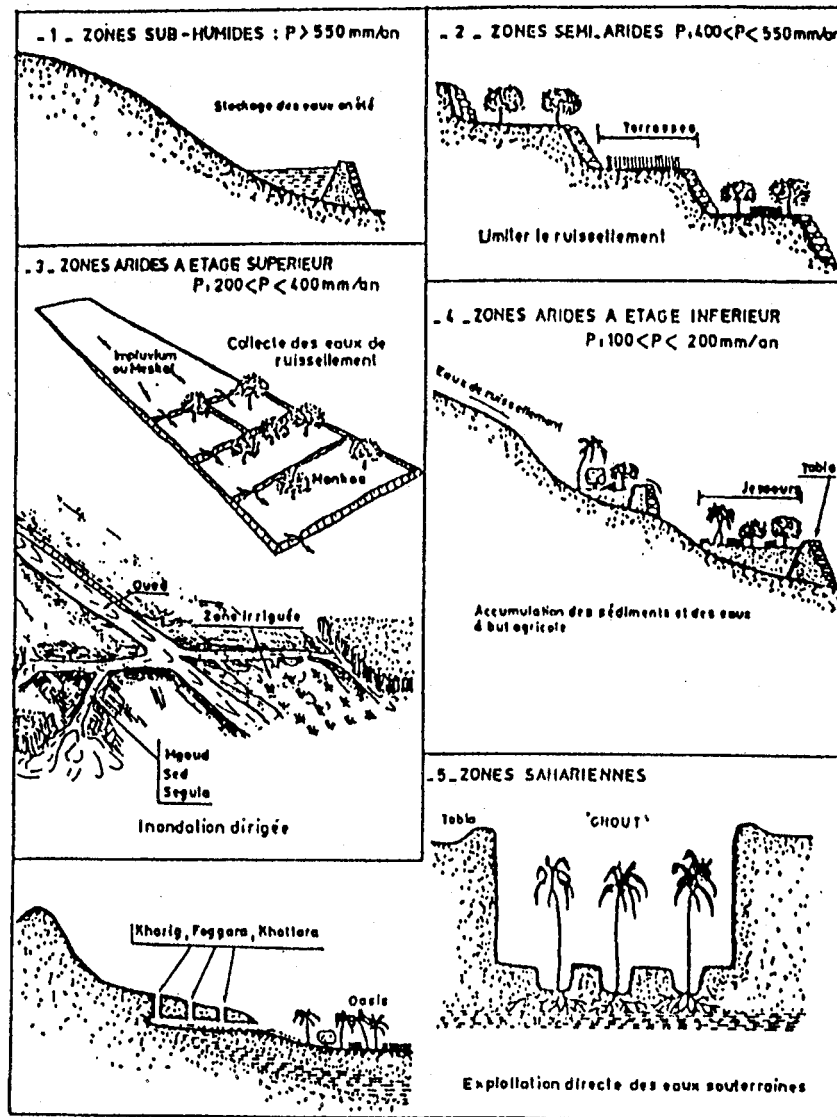
Le rôle original des sols dans la répartition des végétaux apparaît par les réserves hydriques des terres. Il est primordial d'autant plus que le milieu est aridique : la rareté des pluies aboutit à une hiérarchie dans la valeur des sols, très différente de celle des régions humides.

Il est observé trois adaptations des plantes s'appuyant plus ou moins sur des facteurs climatiques ou édaphiques :

- celles qui sont adaptées aux seules précipitations et aux conditions presque sans réserves édaphiques (Nord, Nord-Est).
- celles qui utilisent les réserves du sol seulement comme correctif aux variations de la climatologie locale (Centre, Centre-Est).

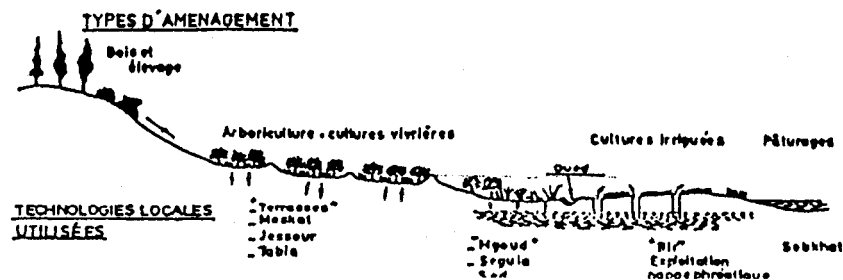
- celles qui exigent les réserves d'une nappe phréatique pour compenser le manque de pluies (Oasis du Sud).

SCHEMA DE CLASSIFICATION DES SYSTEMES HYDRAULIQUES TRADITIONNELS



Source : El Amami, et al

SCHÉMA DES AMÉNAGEMENTS ÉTAGÉS EN TUNISIE



6- Présentation et restauration (dans le temps et dans l'espace): Moyens à mettre en oeuvre.

Les avantages que l'on peut tirer à long terme et non pour un profit immédiat, et l'évolution sur les espaces environnants.

6.1- Des actions curatives immédiates pour les premiers dégâts

- travaux de correction
- travaux d'aménagements (CES)

6.2- Par un système d'évaluation de la dégradation et de la désertification (observatoires régionaux pour la collecte des données et la sensibilisation des agriculteurs et du cadre technique, stations de mesure, cartographie à grande échelle et veille satellitaire).

* **le potentiel d'utilisation des terres** et l'utilisation optimale des ressources pédologiques en fonction des besoins climatiques des cultures : précipitation, humidité du sol.

* **le maintien de la fertilité du sol** et la promotion de l'utilisation adéquate des engrais et des techniques culturales adaptées.

* **Proposer des bilans minéraux des systèmes de culture** prenant en compte les apports (dépôts secs, fumiers et résidus de récolte, engrais et amendements) et les exportations (érosion, sortie de produits agricoles, lessivage), pour pouvoir ensuite conseiller les agriculteurs en fonction de leurs objectifs.

* **L'encouragement des systèmes traditionnels** d'exploitation (meskats, jessours, système oasien) vis-à-vis de techniques importées et de mécanisation anarchique (polydisques dans le Sud).

* **la consolidation du cadre juridique et législatif** sur la protection des terres agricoles et la conservation des eaux et du sol (loi 1983, code CES) et le renforcement des institutions qui ont la responsabilité de veiller sur ce potentiel.

* **le développement des périmètres irrigués** à travers tout le pays ($\approx 300\ 000$ ha) a amené à une utilisation démesurée de l'eau. Les eaux de bonne qualité limitées ont été attribuées en piraté à la consommation humaine. Les eaux chargées en sol des barrages ou de forages sont largement utilisées en irrigation aussi bien dans le Nord, le Centre et le Sud, ce qui a entraîné une forme de dégradation chimique : la salinisation secondaire et l'hydromorphie : basse vallée de la Medjerda, Kairouanais, les Oasis du Sud (Régim Maâtoug, Kébili, Tozeur).

* **le défrichement, l'éradication du couvert végétal** et l'extension de la céréaliculture associés à la fréquence des périodes sèches ont contribué largement à la destruction du potentiel biologique des terres de parcours. La lutte contre la désertification se confond avec les actions de développement en milieu aride et il est impératif de préserver le potentiel de production (ressources naturelles).

* **la bonification des sols salés** : les opérations de récupération des terrains affectés par la salure et l'exploitation des nappes à eaux saumâtres pourront contribuer à l'augmentation des surfaces totales irriguées du pays et à un accroissement substantiel et rapide au niveau de production alimentaire. En effet, la pression démographique que connaît le pays et le besoin, sans cesse croissant en produits alimentaires de base (céréales, produits laitiers, viande ...) restent des motivations primordiales et des justifications sûres de ces projets d'extension des périmètres cultivables au dépend des sols salés.

* **Sols et Eaux Usées** vers l'an 2000, nous aurons environ 30 000 ha de terres irriguées aux eaux usées traitées (e.u.t). Beaucoup de ces terres sont de qualité médiocre, en plus des éléments polluants et de la charge élevée en sels de ces eaux. Dans ce contexte une stratégie d'aménagement des périmètres irrigués aux e.u.t. s'impose. Elle doit se baser sur les moindres risques. Parallèlement à l'effort d'aménagement, un suivi fréquent et relatif aux eaux, sols, nappes et cultures doit être mis en œuvre.

Actuellement, toutes les terres irriguées aux e.u.t doivent faire l'objet de contrôles périodiques. Les périmètres expérimentaux près des stations d'épuration de l'ONAS peuvent constituer le noyau des observatoires d'évolution des sols sous irrigation aux e.u.t. La réussite de ces périmètres expérimentaux permettra de promouvoir une amélioration de l'utilisation de ces eaux qui n'est que de 30 % actuellement, de limiter l'emploi des eaux conventionnelles (barrages et puits) et de bonifier les terres.

Le contrôle de l'utilisation de ces eaux est une opération à initier surtout dans la région du Grand Tunis, le Cap Bon, le Sahel, la région de Sfax et celle de Gabès et de la concentration touristique et enfin la bande côtière Zarzis-Jerba. En plus de la forte densité de la population, ces régions ont de grandes potentialités en eau domestique et connaissant actuellement une surexploitation de leur nappe littorale induisant une intrusion marine.

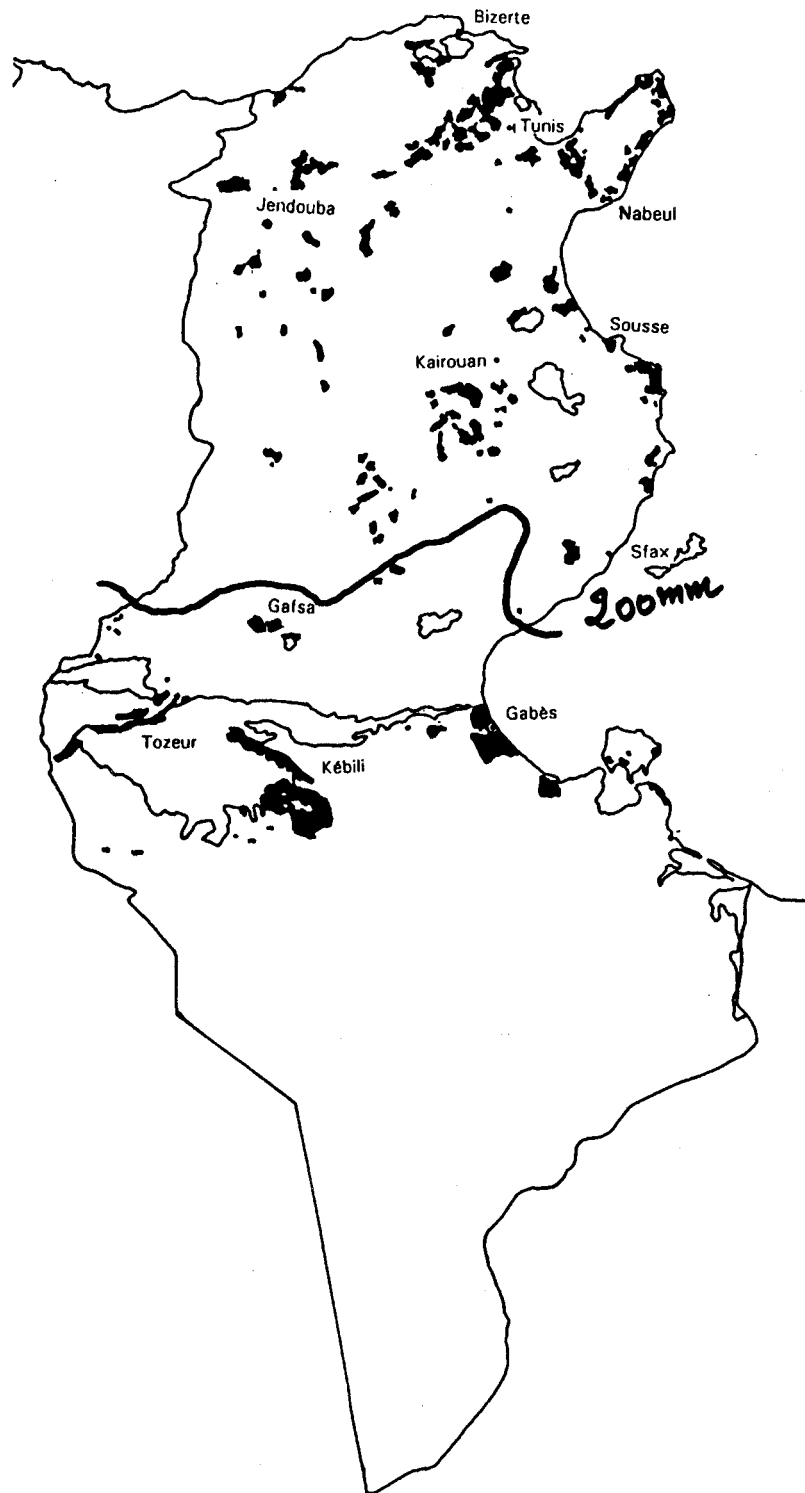
Dans l'aménagement des nouveaux périmètres, il est fortement recommandé de limiter les risques par le choix de sols plus propices à l'irrigation c'est-à-dire ceux qui ne présentent pas de contraintes physiques (sols très argileux ou très sableux) ou hydrologiques (nappes superficielles).

* **La pression urbaine sur les terres agricoles : perspectives et solutions de la frange littorale menacée** : l'étude de cas des villes littorales sur les pertes en terres fertiles montre l'importance qu'il faut accorder à la préservation du potentiel agricole dans cette zone vitale de la Tunisie. Le choix des cas a été dicté par :

a- l'ancienneté des sites urbains

b- l'environnement écologique attractif : une façade maritime d'accès, des ressources en sols favorables à l'agriculture en sec et en irrigué (alluvions anciennes et ressources hydrauliques non négligeables, nappes de surface et profondes).

c- le rôle économique actuel : c'est une région qui connaît une dynamique tout azimut : zones attractives des investissements, pôles industriels, commerciaux et de service, espace touristique de 1er ordre et produits agro-alimentaires.



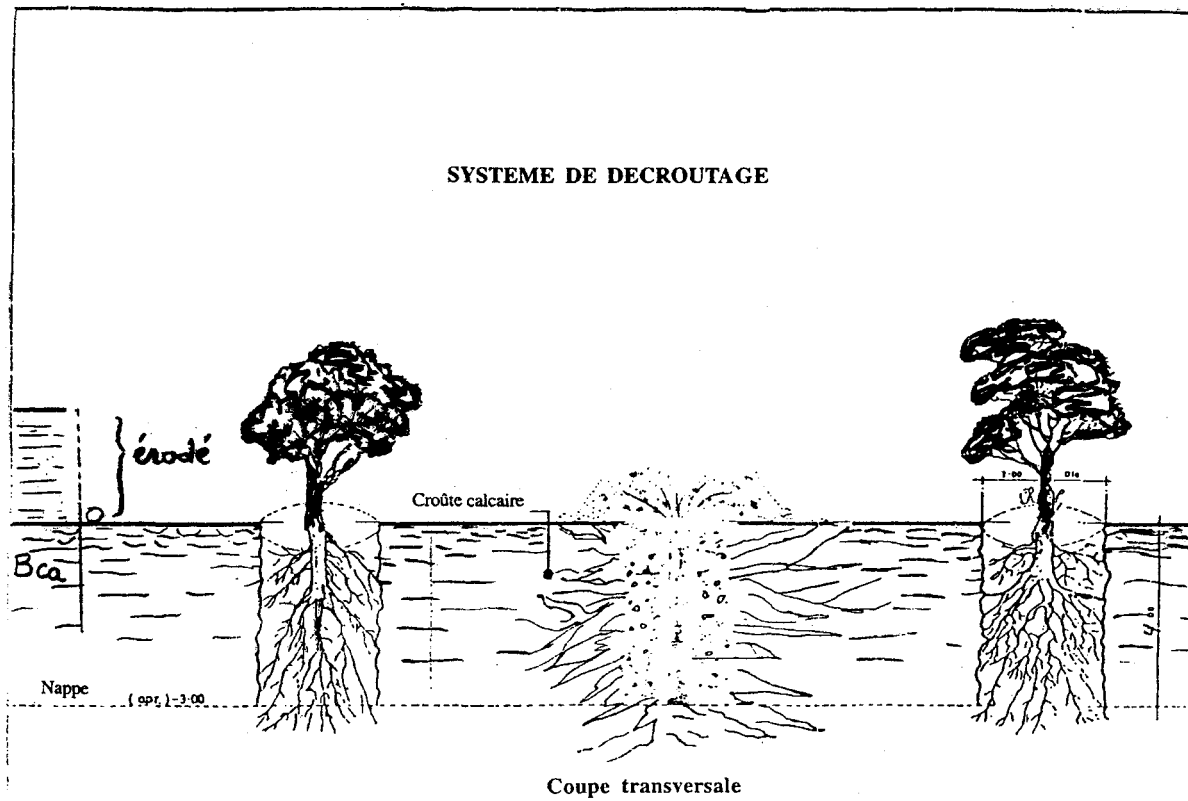
LES PERIMETRES IRRIGUES DE TUNISIE

A long terme :

Il est primordial de voir la protection des terres agricoles des zones littorales dans un contexte plus global d'équilibre économique régional. A l'heure actuelle, la stratégie de développement devrait tenir en compte du volume des investissements à accorder à l'intérieur (mobilisation des eaux de surface, création de périmètres

irrigués, infrastructure) pour venir en aide au littoral de plus en plus déficitaire en espace productif agricole : zone attractive des populations intérieures.

La binôme espace rural-urbain (Tunisie intérieure), ou urbain-rural (Tunisie littorale) comportera moins de contraste et une conscience nouvelle à la consommation des ressources naturelles.



A moyen et court terme :

L'application de la loi 83/87 relative à la protection des terres agricoles par le biais des structures des Ministères de l'Agriculture et de l'Intérieur (les municipalités) est une nécessité absolue pour préserver et maintenir cet espace de première nécessité : production + environnement. De même, il faut agir contre la construction horizontale grande consommatrice d'espace.

- Rôle de la représentation cartographique : dans la protection des terres

A l'heure où la dynamique urbaine est présente et l'extension est grandiose, l'utilisation de l'informatique semble prioritaire et urgente dans le contrôle des terres agricoles. Le système d'information géographique (SIG) pourrait être un outil de grande utilité dans le contrôle et le suivi général.

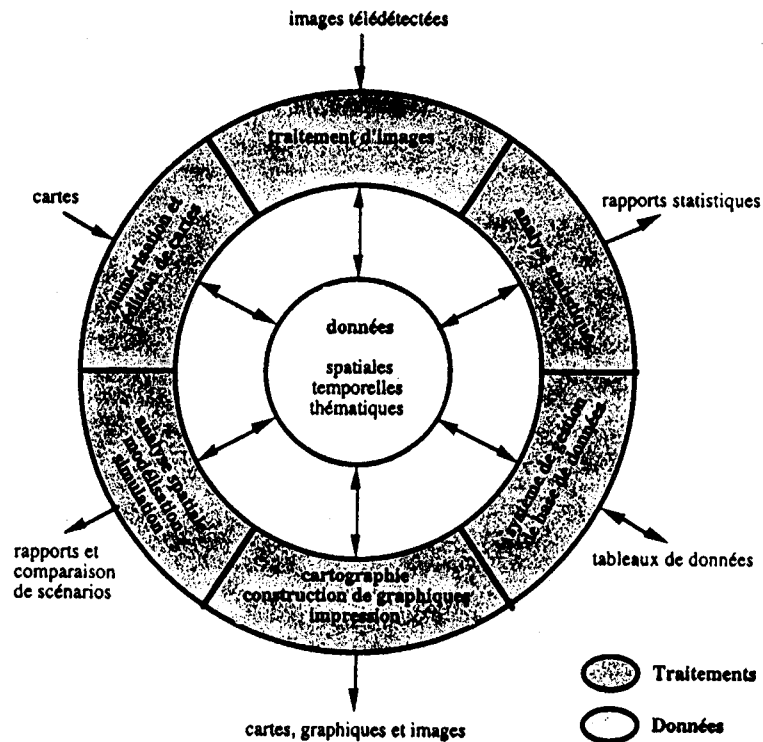
La révision des cartes anciennement établies semble une nécessité pour la Direction des Sols. Constituer une base de données anciennes et nouvelles sur le potentiel sol (actuellement utilisé ou perdu : érosion, urbanisation) est un objectif de 1er ordre pour les années à venir.

Par ailleurs, il est nécessaire de suivre une gestion de l'espaces constructible par les diverses institutions publiques telle que l'AFH*, AFT*, AFI* et la SNI, qui détiennent la stratégie de l'habitat autour des villes.

L'arrêt de la spéculation sur les terres et la maîtrise de l'extension des agglomérations permettent de mieux sauvegarder ce patrimoine. La notion de réserve foncière doit être mieux définie.

Il est aussi indispensable que des institutions agricoles, comme l'OTD, les Offices et les Sociétés de développement agricole, veillent sur leur acquis en terres agricoles pour ne pas démarrer sur des petits noyaux de construction et qui font une extension vertigineuse sur leur patrimoine de départ. C'est dans ce cadre de plans directeurs d'urbanisme (PDU) bien étudiés qu'on pourrait mieux gérer l'espace existant par les programmations et les orientations futures des villes littorales dans le cadre d'un développement durable.

* Agence Foncière de l'Habitat
 * Agence Foncière Touristique
 * Agence Foncière Industrielle

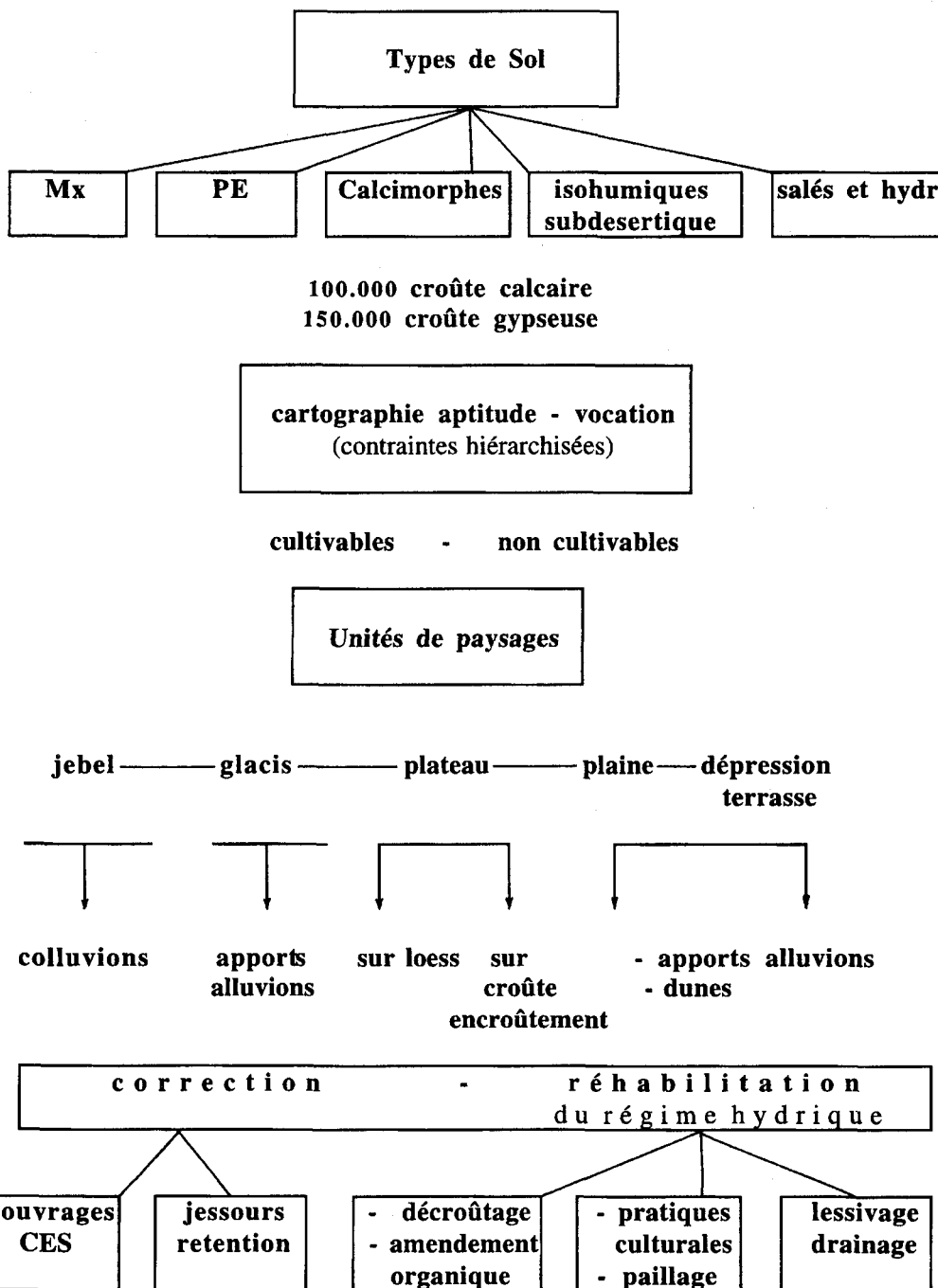


Les composants informatiques d'un SIRS, adapté de Eastman (1991).

7- Méthodologie et approche.

- **l'approche multidisciplinaire et intégrée** est indispensable pour permettre une analyse complète des systèmes écologiques des différentes régions par :
 - * une classification climatique et des ressources en eau,
 - * une classification des aptitudes des sols selon les limites observées,
 - * des coûts imposés.
- raisonner en structuration spatiale des écosystèmes : 3 niveaux : national, régional, ville-campagne, cartographie des zones sensibles et des zones à protéger, cartographie de l'utilisation et de l'aménagement des terres à grande échelle 1/50 000, lier les projets de développement et d'aménagement avec les ressources en sol selon leurs aptitudes et leurs spécificité.
- le suivi et l'évaluation obéit à une dimension nationale, (inter-régionale), maghrébine (Afrique du Nord), Africaine (sub-saharienne) et Méditerranéenne (entre les deux rives de la Méditerranée). Toutes les actions entreprises doivent obéir à ces dimensions de continuité de l'espace étudié par des moyens à la fois techniques et juridiques.

**Le potentiel existant des régions semi-arides et arides
cartographie morpho-pédologique**



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bahri A. (1993) : Réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie -CRGR, 24 p.
- Bonvallot J. (1979) : Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine au cours des pluies exceptionnelles de Mars 1979, ORSTOM, 33 p.
- Bradeau E. (1995) : Caractérisation des propriétés hydro-structurales des sols dans les périmètres irrigués de Tunisie (la rétractométrie) ES 286 - Direction des Sols.
- Direction des Sols :
 - Bulletin de la Direction des Sols - sols de Tunisie n°5, 8, 11, 13, 14, 15 et 16.
 - Carte des aptitudes culturales des sols de la Tunisie en sec. Ech. 1/1000 000.

- Carte des zones irrigables. Ech. 1/1000 000. Direction des Sols.
- Carte bioclimatique de la Tunisie Ech. 1/1000 000.
- Carte des états des études pédologiques révisée 1979.
- Cartes des ressources en sols de la Tunisie. Ech. 1/200 000, 10 feuilles.
- Cartes des sols aptes à la céréaliculture de la Tunisie septentrionale, centrale et méridionale. Ech. 1/50 000 et 1/200 000.
- Cartes de protection des terres agricoles. Ech. 1/50 000 et 1/100 000.
- Congress Of Soil Science (1990) : Committee of soil fertilizers, 152 p.
- Escadafal R., Mtimet A., Asseline J. (1986) : Etude expérimentale de la dynamique superficielle d'un sol aride (Bir Lahmar, sud tunisien). Résultats des campagnes de mesures sous pluies simulées. ES 231. Direction des Sols, Tunis, 63 p.
- Floret Ch. Et Pontanier R. (1982) : L'aridité en Tunisie présaharienne. Série document ORSTOM.
- Floret Ch., Mtimet A., Pontanier R. (1989) : Caractérisation écologique des régimes hydriques et de l'érodibilité des sols en zones arides, ORSTOM Tunis, CEPE/CNRS Montpellier, 44 p. multigr.
- Freytag J., Mtimet A. (1994) : Soil carbon in the arid and semi arid tropics. Colloque international sur l'emploi des techniques nucléaires I.A.E.A. Vienne.
- Guellali T. (1980) : Transfert Sels-matière organique en zones arides méditerranéennes. Thèse doc. d'Etat. Université. Nancy 202 p.
- Hachicha M. Et Ben Hassine H. (1990) : Irrigation et salure dans le périmètre de Zelba. ES 263. Direction des Sols.
- Hamdane A. (1991) : Histoire et technologie des systèmes d'aménagement hydro-agricole traditionnel en Tunisie.
- Hille D. (1974) : L'eau et le Sol : principes et processus physiques. Varroder. 16 p. Editeur 288 p.
- Horchani A. (1992) : Réflexions sur l'aménagement des lacs et sebkhs en Tunisie. 16 p (Bulletin de la Direction des Sols n°15).
- Khalfallah S. Fekih A. (1986) : Zones irrigables dans l'extrême sud tunisien à partir d'études consultées. Direction des Sols, 3 p.
- Khatteli H., Mtimet A. (1994) : Ressources, risque de dégradation et essais de lutte préventive contre l'érosion éolienne des terres cultivées en céréales. Congrès international des zones arides et semi-arides. Tunis 14-19 novembre 1994.
- Ministère De L'agriculture (1990) : Document 8ème plan. Commission sectorielle de protection de l'environnement. 87 p.
- Mtimet A. (1983) : Contribution à l'étude pédologique des limons des Matmata (sud tunisien). Doctorat de spécialité. Univ. Pierre et Marie Curie. 183 p. Annexes, Cartes h.t.e 590. Direction des Sols, Tunis.
- Mtimet A. (1985) : L'érosion hydrique dans les Matmata (une nouvelle approche de caractérisation du matériau dans une optique d'un aménagement antiérosif). ARES, Direction des Sols. ES 234, 113 p.
- Mtimet A. (1987) : Evaluation de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique (étude de simulation de pluies sur les sols d'un micro-bassin type jessour - Matmata Tunisie présaharienne) ES 240 Direction des Sols, Tunis, 51 p.
- Mtimet A. (1987) : Sauvegarde des oasis du Gouvernorat de Gabès (état de la salure des sols et comportements hydriques, février -mars 1987). ES 241, Direction des Sols, Tunis, 118 p. annexes, 8 cartes h.t.
- Mtimet A. (1990) : Soils and desertification problems in south Tunisia (Monitoring and evaluation) 15 p. Congrès des Sciences du Sol Kyoto (Japon).
- Mtimet A. (1994) : Aridity and climatic changes in the northern sahara (carbon as an indicator in the clastic accumulations in arid and semi arid tunisian) 15 th international congress - Mexico.
- Mtimet A. Et Hachicha M. (1995) : Salinisation et hydromorphie dans les oasis tunisiennes. "Sécheresse". n°4, vol 6.
- Mtimet A. (1996) Connaître et exploiter nos sols pour mieux les protéger (guide des pratiques pédologiques en milieu méditerranéen aride et semi-aride) ES 291. Direction des Sols, 136 p.
- Souissi A., Hentati A., Mami A., Mtimet A. (1983) : Inventaire des terres aptes à la création des palmeraies dans la région de Régim Maâtoug., Bir Matrouha. Division des Sols. 6 p.
- Szabolcs Ik, Mtimet A., Marshali A. Et Redly M. (1995) : International Workshop of salt affected soils. Philippines, 6-10 novembre 1995. FAO - UNEP.

NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR ACCROITRE LES RESSOURCES EN EAU EN REGIONS ARIDES

Pierre ROGNON

Université P. & M. Curie Case 114, 75252 Paris Cedex 05

RESUME

Cet exposé souligne la nécessité de trouver rapidement de nouvelles technologies pour répondre aux besoins en eau des populations en régions arides. Trois propositions sont citées en exemple :

- 1- la réduction de l'évaporation à la surface des nappes d'eau en utilisant des films monomoléculaires.
- 2- L'extension aux régions arides des méthodes de recharge artificielle des nappes phréatiques.
- 3- L'accroissement du rendement de la rosée.

Mots clés : régions arides, ressource en eau, lutte contre l'évaporation, recharge des nappes phréatiques, recueil de la rosée.

SUMMARY

This paper aims at pointing out the urgent need to discover new technologies in order to find a solution to increase water resources in arid regions. Three projects are set out for example :

- 1- reducing evaporation on water sheet surface using monomolecular films.
- 2- Increasing the artificial ground water recharge in a rid areas.
- 3- Recovering clean water form dew.

Même si elles sont encore peu nombreuses et rarement quantifiées, les études sur les progrès de la désertification montrent une accélération du processus, non seulement par suite d'erreurs d'aménagement (ce qui peut être corrigé), mais aussi du fait de l'augmentation de population qui entraînera des besoins nouveaux, donc une plus grande pression sur les ressources en sol et en eau. Il paraît de plus en plus évident, en particulier dans le domaine de l'eau, que les méthodes actuelles ne pourront pas suffire pour répondre à ce défi, précisément dans les régions sèches où l'eau est indispensable pour créer de nouvelles ressources. Il faudra donc faire appel à de nouvelles technologies, issues d'un effort de recherche important et orienté vers des applications pratiques.

De nombreux exemples montrent en effet que des solutions inédites peuvent être trouvées à partir de nouvelles molécules ou de nouveaux matériaux mis au point dans les sciences fondamentales ou dans les techniques de la recherche spatiale ou nucléaire. Les trois exemples ci-dessous montrent comment à partir de ces découvertes, il est possible d'espérer un accroissement des ressources en eau.

1- Réduction de l'évaporation à la surface des nappes d'eau.

La construction de grands barrages réservoirs jusqu'à la limite du désert au Maroc (Ouarzazate et Erachidia), en Algérie (O. Guir, Aurès) et en Tunisie (Sidi Saad) ou en plein désert (haut barrage d'Assouan en Egypte) met en évidence une production croissante de l'évaporation (entre 10 et 25 % de l'eau stockée selon le rapport entre la surface et le volume du réservoir). L'irrégularité de la pluviométrie ou les besoins en eau potable et en électricité hydraulique rendent souvent nécessaire le recours au stockage de l'eau malgré une évaporation annuelle de l'ordre de 2 à 6 mètres sur une nappe libre. Le même gaspillage se retrouve, à moindre degré, sur les nappes d'eau saisonnières des lacs collinaires (en plein développement au Maghreb) ou des mares destinées au bétail dans tout le Sahel.

a) Un film mono-moléculaire étendu à la surface de l'eau

La solution envisagée pour réduire cette évaporation de manière significative, consisterait à étendre, à l'interface eau/atmosphère, un film mono-moléculaire de quelques angströms d'épaisseur à très grand pouvoir de diffusion. Constitués d'acides gras hydrocarbonés ou perfluorés ou encore de polymères à longues chaînes latérales, ces films ont permis de réductions de l'évaporation jusqu'à 50 ou même 80 % sur de très petites surfaces. Mais les essais ont été abandonnés à cause de la faible résistance de ces films aux déchirures causées par les vibrations provoquées par les vagues ou par le vent dès que sa vitesse en soufflerie atteint 10 à 15 km/h.

La mise au point de nouvelles molécules au laboratoire de Physico-chimie des surfaces et interfaces de l'Institut Curie à Paris (RONDELEZ, 1996) permet d'envisager des couches de Langmuir formées de chaînes moléculaires les plus longues possibles (ainsi quand on passe de chaînes à 18 atomes de carbone au lieu de 16, l'évaporation se trouve diminuée de moitié) avec une densité surfacique voisine de 30 angströms² par molécule. Cette densité ne doit pas atteindre l'état solide où des chevauchements pourraient se produire. Il faut, cependant, que les molécules restent libres les unes par rapport aux autres pour que le film garde sa souplesse, grâce à des liaisons chimiques irréversibles de type covalent à des réticulations inter- moléculaires.

b) Le comportement de ce film en milieu naturel

Une fois mis au point, ce film doit être testé dans différents environnements. Il devra rester stable même pour des températures relativement élevées et une radiation solaire intense puisque la surface de l'eau ne sera plus refroidie par l'évaporation. Il devra résister aussi aux valeurs de pH ou de salinité qui peuvent se rencontrer sur ces nappes d'eau. Il devra enfin permettre les échanges d'oxygène à travers l'interface, préserver la potabilité de l'eau et, si possible, être biodégradable ou récupérable (par un système comparable à celui qui est utilisé lors des pollutions d'hydrocarbures).

Ce "cahier des charges" devrait impliquer aussi un prix de revient assez bas pour que les films puissent être renouvelés fréquemment et n'être pas trop onéreux par des communautés agricoles africaines.

Toutes ces contraintes exigeront une phase expérimentale assez longue et un financement approprié.

2- La mise en réserve de l'eau dans les alluvions pour la soustraire à l'évaporation.

En régions sèches, la construction de grands barrages devrait être évitée non seulement à cause des pertes considérables par évaporation, mais aussi parce que leur coût devient excessif. Ces barrages doivent, en effet, être surdimensionnés pour tenir compte des sécheresses pluriannuelles et aussi de l'envasement rapide, lié aux progrès de la désertification, qui réduit leur durée d'utilisation.

a) Eviter le stockage de l'eau à l'air libre

La solution de recharge la plus simple consiste à concevoir des barrages qui freinent les crues et restituent très vite l'eau stockée qui s'infiltré à l'aval dans les nappes phréatiques où elles peuvent être utilisées, en fonction des besoins, à l'aide de moto-pompes. C'est le cas du barrage d'Aoulouz au Maroc, installé à l'amont de la plaine du Sous, constituée de vastes étendues d'alluvions perméables. Grâce à des crues relativement fréquentes issues du Haut Atlas et de l'Anti Atlas, la recharge de la nappe est ainsi assurée, sans stockage prolongé de l'eau derrière le barrage. Mais en contre partie, l'O. Sous n'assure plus sa fonction de drain des eaux usées dans une plaine très étendue où les cultures irriguées et les villes se développent très rapidement.

Les besoins en eau des villes et des cultures irriguées s'accroissent alors que le volume d'eau stockée diminue avec l'envasement des barrages, ce qui impose le recours à de nouvelles techniques :

- pour maîtriser la violence des crues par de multiples barrages de dérivation (cas de l'O. Rhéris au Tafilalt au Maroc) plutôt que par la construction d'un grand barrage de retenue. Mais cette solution n'est possible que dans certaines conditions hydrologiques et topographiques,

- pour stocker l'eau en profondeur dans les alluvions et non plus au contact de l'atmosphère. Cette solution exige une étude approfondie des caractéristiques sédimentologiques et hydrologiques de chaque nappe alluviale en vue d'une gestion rationnelle.

b) Une meilleure connaissance du fonctionnement des nappes phréatiques en région sèche

Deux exemples montrent la diversité des objectifs poursuivis :

- en régions sahéliennes, au Niger occidental, la crue estivale s'infiltré tout le long des 250 kilomètres de la vallée du dallol Maour (GAOH et DASSARGUES, 1995). Malgré les très fortes variations interannuelles de la crue, la solution retenue ici n'est pas le barrage réservoir mais une gestion très précise de la nappe phréatique, après des campagnes de mesures du réservoir alluvial (diagraphies, cuttings) et de son comportement hydrologique (pluviomètres, piézomètres, mesures électriques). Ces mesures ont permis l'élaboration d'un modèle et son calibrage en tenant compte aussi de la qualité des eaux (conductivité, sodium absorption ratio ou SAR). Il est aujourd'hui possible de fixer une limite supérieure à l'extension en cours des cultures irriguées (4000 ha en maïs, ou, au maximum 10 000 ha en cultures peu exigeantes en eau), de répartir les cultures en périmètres de 5 à 20 ha tout le long de la vallée et, enfin, de faire varier soit les surfaces, soit le type de cultures en fonction des variations interannuelles des pluies, selon les indications du modèle.

- en région hyper-aride, au Sahara central, les nappes alluviales des grands oueds descendant de l'Atakor, sont utilisées depuis une cinquantaine d'années pour irriguer des jardins à l'aide de foggaras, et plus récemment de motopompes (ROGNON, 1970). Plusieurs de ces nappes phréatiques ont fait l'objet d'études approfondies en vue de l'alimentation en eau de la ville de Tamanrasset (50 000 habitants), en particulier la nappe de l'oued In Amguel (KHAMMARI, 1996). Comme les crues trop irrégulières et l'évaporation trop forte pour justifier la construction d'un barrage, le stockage de l'eau s'effectue naturellement dans la masse d'alluvions sableuses très perméables et les eaux en excédent s'échappent à l'exutoire aval.

Pour obtenir une gestion optimale de cette réserve d'eau, son alimentation est évaluée à l'aide de pluviomètres installés dans le bassin versant (960 km²) et son comportement a été étudié sur 28 ans (1955-1982) à l'aide de piézomètres. Il est envisagé de construire une digue à l'aval pour recueillir le surplus du sous-écoulement. Mais le but est de gérer cette nappe :

- pour éviter toute perte à l'aval

- pour assurer un prélèvement régulier et permanent d'eau potable pour la ville de Tamanrasset en tenant compte de la grande variabilité interannuelle des pluies. L'étude a montré qu'un prélèvement de 40 l/sec pourrait être assuré régulièrement mais que la nappe n'avait pas une inertie suffisante pour assurer un débit de 60 l/sec lors de plusieurs années sèches successives (par exemple entre 1968 et 1973).

c) une extension des ressources en eau en régions hyper-arides

Ces deux exemples montrent que, sans barrage, il est possible d'assurer une gestion maxima de l'eau soit pour l'irrigation, soit pour l'alimentation d'une ville en région aride. Or dans la perspective d'un aménagement industriel ou urbain de régions arides continentales (hors de portées des futures usines de dessalinisation de l'eau de mer), il est nécessaire de prospector toutes les nappes phréatiques susceptibles de fournir des ressources d'appoint en eau.

L'extension de ces nappes éventuelles peut être cartographiée, au moins jusqu'à 5-6 mètres de profondeur; grâce aux ondes émises par les satellites. Au Sahara central par exemple, d'anciens réseaux hydrographiques, aujourd'hui fossiles, peuvent ainsi devenir des réserves potentielles à condition que la dégradation des écoulements actuels n'ait pas entraîné un aréisme généralisé.

Pour gérer ces nappes, il faut non seulement les cartographier, mais connaître leur structure interne pour évaluer leur capacité de stockage et définir leur mode de gestion. Une nouvelle technologie, la résonance magnétique nucléaire, mise au point en Russie et dotée d'une électronique très perfectionnée par le BRGM (Iris Instrument) apporte de grands espoirs pour la prospection des aquifères superficiels jusqu'à 100 mètres de profondeur (limite raisonnable pour le pompage) en régions arides.

Cette méthode utilise l'excitation des protons d'hydrogène, présents essentiellement dans l'eau du sous-sol, à partir d'une boucle posée à la surface du sol. Cette boucle capte le champ magnétique de retour, émis par ces protons, qui est proportionnel au nombre des protons excités, donc à la teneur en eau de chacune des couches du sous-sol. De plus, le temps de décroissance du champ de relaxation donne des indications sur la taille des pores (eau libre et eau liée aux argiles) de chaque niveau (BEAUCE et *al.*, 1996). Ces deux données sont essentielles pour permettre la modélisation.

Contrairement aux méthodes de prospection électrique (conductivité) ou sismiques (vitesse de propagation des ondes), celle-ci détecte directement l'eau présente dans le sol. Son emploi est plus large et plus simple que celui de la sonde à neutrons. Elle a été testée sur deux aquifères dans le bassin parisien, mais une phase d'expérimentation sera nécessaire pour l'adapter aux conditions particulières des régions arides.

3- Extraction d'eau à partir de la vapeur non condensée.

Dans les régions sèches, la plus grande réserve en eau est constituée par la vapeur d'eau non condensée. En effet, par suite des hautes températures ambiantes, l'eau est surtout présente sous forme de vapeur et, en valeur absolue, en quantité bien élevée que dans les régions tempérées. Pour recueillir cette eau, il n'est pas nécessaire d'atteindre 100 % d'humidité relative, mais de refroidir l'air, par exemple lors de l'irradiation nocturne dans l'infrarouge, pour entraîner sa condensation. Ce processus est fréquent dans les régions arides littorales sous forme de rosées.

a) Amplifier le mécanisme de la rosée

Bien que la rosée soit un phénomène de surface, elle pourrait produire une quantité d'eau appréciable et d'excellente qualité. Au IV^{ème} siècle avant J.C, les habitants de Thodosia (Crimée) auraient été les premiers à accélérer la condensation de la vapeur en construisant des fontaines de rosée. L'expérience fut reprise au début du XX^{ème} siècle, sur le même site par l'ingénieur ZIBOLD. Le condenseur était constitué d'un cône tronqué de 20 mètres de diamètre et 6 mètres de haut, construit avec environ un million de galets arrondis, de 10 à 40 cm de diamètre. L'air humide pénétrant entre les galets se refroidissait suffisamment la nuit pour provoquer la condensation de l'eau, recueillie dans une gouttière centrale.

Entre 1928 et 1957, cette idée fut reprise dans le Midi de la France en amplifiant les dimensions de la construction (tour de 12 mètres de haut percée de très nombreux trous, condenseur central de 8 mètres). Elle partait du principe qu'il fallait accroître l'inertie thermique et le volume de l'édifice. Les résultats furent très décevants : entre 40 et 87 litres par an, durant les six mois les plus chauds (BEYSENS, 1996).

Or, plus récemment, des ingénieurs du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA, Grenoble) ont montré que le très faible rendement des condenseurs précédents venait précisément de leur très faible surface d'irradiation (indispensable pour obtenir un refroidissement nocturne) par rapport à la masse du condenseur. Lorsque le rapport masse/surface s'élève, la quantité d'eau condensée diminue très rapidement. De plus, l'édifice doit avoir le moins de contact avec le sol qui restitue au condenseur la chaleur qu'il a emmagasiné pendant le jour, à cause de sa forte conductivité thermique. Enfin, les condenseurs précédents étaient tributaires d'un vent modéré pour que l'air humide pénètre entre les galets ou à l'intérieur de l'enceinte (NIKOLAYEV et *al.*, 1996).

b) Mise au point d'une nouvelle technologie

Ce constat et les progrès dans la compréhension des mécanismes de la rosée (BEYSENS, 1995) ont conduit à la conception d'un dispositif très différent. Les nouveaux condenseurs seront constitués par une grande feuille très mince d'un matériau connu pour sa très faible capacité calorifique, posé sur des tréteaux pour l'isoler du sol et présentant le maximum de surface d'irradiation par rapport à son épaisseur. Les expériences préliminaires réalisées en Tunisie (NIKOLAYEV et *al.*, 1996) en juillet 1995 ont montré que les feuilles de polyéthylène de 0,5 mm d'épaisseur se refroidissaient davantage au cours de la nuit que celle de cuivre, d'acier ou d'aluminium et peuvent fournir jusqu'à 1/4 litre d'eau par mètre carré en 24 heures. L'inclinaison de la feuille permet de réduire considérablement la température maximum diurne (de 60 à 15°C), mais ce facteur joue peu, étant donné la faible inertie thermique du matériau retenu. Par contre un vent faible est souhaitable pour

renouveler l'air humide, mais fort, il tend à réchauffer la plaque (à cause de sa faible capacité thermique) et donc à arrêter la condensation.

Ce dispositif garde les mêmes avantages que les condenseurs précédents. Il ne fait appel à aucune source d'énergie et son fonctionnement est très simple et gratuit. Il suppose l'occupation de vastes étendues de sol pour disposer les panneaux de recueil de la rosée, ce qui ne pose guère de problème en régions plus ou moins désertiques. Pour connaître réellement son rendement en eau, il doit maintenant être expérimenté dans des sites, des contextes climatiques et des contraintes environnementales différentes. En modifiant les paramètres physiques, on peut ainsi atteindre un plus haut rendement.

Enfin ce dispositif, conçu à l'origine pour être utilisé dans des atmosphères proches de la saturation (littoraux, intérieur des palmeraies, bordures des lacs réservoirs), pourra peut être aussi être utilisé en atmosphère plus sèche pour fournir de l'eau potable en petites quantités, mais de manière très décentralisée.

Conclusion :

Ces exemples montrent que la mise au point de nouvelles technologies pour une lutte efficace contre la désertification est possible à partir des acquis de la recherche scientifique. Ainsi les pertes en eau par évaporation, considérées jusqu'ici comme inévitables, pourront probablement être atténuées à l'avenir. Le stockage de l'eau dans les nappes phréatiques pourra être accru grâce à une meilleure prospection et une gestion plus précise des réservoirs alluviaux. Enfin, si les recherches sur la vapeur d'eau atmosphérique n'ont porté jusqu'ici que sur la vapeur à l'état condensé (nuages, brouillards) et n'ont pas été très concluantes (résultats très discutés des essais de pluie provoquée en régions arides), une autre voie peut être envisagée à partir de la vapeur d'eau non saturée.

D'une façon plus générale, beaucoup de problèmes posés par la désertification et l'aménagement des déserts pourraient être résolus par un effort plus important de recherche, même fondamentale. La mise en oeuvre de ces programmes de recherches comporte toujours un risque qui devra être apprécié par un comité d'experts. Mais chaque réussite d'un de ces projets aurait un impact considérable et pour l'ensemble des pays concernés par la désertification.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Beauce A., Bernard J., Legchenko A., Et Valla P. (1996) : Une nouvelle méthode géophysique pour les études hydrogéologiques : l'application de la résonance magnétique nucléaire. *Hydrogéologie*, 71-77.
- Beysens D. (1995) : The formation of dew. *Atm. Res.* 39, 215-237.
- Beysens D. (1996) : Les puits de rosée, un rêve remis à flot. *La Recherche* 287, 30-33.
- GAOH A.D. Et DASSARGUES A. (1995) : Exploitation de la nappe alluviale du dallol Maouri pour des cultures irriguées au Niger. *Sécheresse*, 6, 3, 257-263.
- Khammari B. (1996) : Contribution à l'identification des systèmes hydrologiques. Thèse Université Paris VI, 421 p.
- Nikolayev V.S., Beysens D., Gioida A., Milimouk I., Katiushin E. Et Morel J. P. (1996) : Water recovery from dew. *J. of Hydrol.*, 182, 19-35.
- Ronde Lez F. (1996) : Contrôle du taux d'évaporation d'eau dans les bassins en zone tropicale et méditerranéenne : utilisation des couches de Langmuir réticulées. Rapport dactyl. 6 p.
- Rongon P. (1970) : Un massif montagneux en région tropicale aride : l'Atakor. Relations entre le milieu naturel et le peuplement. *Annales Univ. d'Abidjan*, série G, t II, 2, 220 p.

BILAN DES PRINCIPAUX TRAVAUX DE RECHERCHE SUR L'ÉROSION ÉOLIENNE EN TUNISIE ARIDE ET DESERTIQUE

Houcine KHATTELI
I.R.A Médenine -Tunisie

RESUME

Les recherches menées au sein de l'Institut des Régions Arides de Médenine sur l'érosion éolienne et la lutte contre l'ensablement en Tunisie aride et désertique, objet du présent travail, visent à contribuer, d'une part, à une connaissance objective des causes, processus et mécanismes du phénomène et d'autre part, à l'établissement d'un système de contrôle continu et rationnel de ses manifestations pour comprendre son déclenchement et par conséquent pour l'éviter et pour le combattre. Elles ont permis d'aboutir à plusieurs conclusions qui concernent aussi bien les aspects fondamentaux que pratiques liés à ce problème.

SUMMARY

The researches made at the « Institut des Régions Arides » at Médenine into wind erosion and sand drifting control in the arid and desertic areas of Tunisia were targeting two main objectives. First, the understanding of the causes, processes and mechanisms of the phenomenon. Second, the setting up of a rational and continuous control system in order to understand its initiation, so that prevention and control are made easier.

Some conclusions concerning the fundamental and practical aspects of the problem were made possible.

1 - INTRODUCTION

Depuis le début du siècle, et particulièrement depuis quelques décennies, on assiste dans le sud tunisien à une rapide transformation du paysage naturel qui résulte principalement de l'augmentation de la population et de sa sédentarisation.

Les changements dans le mode d'habitat et d'occupation de l'espace rural sont accompagnés de modifications affectant les systèmes fonciers et l'utilisation quantitative et qualitative des ressources naturelles (FLORET et PONTANIER, 1982 ; LE HOUEROU, 1969 et 1990 ; TALBI, 1993).

L'utilisation passée de cet espace était essentiellement l'élevage extensif (ovins, caprins et camelins) sur des pâturages collectifs et une céréaliculture épisodique et aléatoire limitée géographiquement aux zones les mieux arrosées.

Actuellement, en raison de la sédentarisation rapide des populations nomades et de l'appropriation des terres collectives, des formes nouvelles de gestion des ressources naturelles se sont développées. Elles se manifestent notamment, par l'abandon progressif de la transhumance, la création des jardins au voisinage des habitations et l'extension considérable de l'arboriculture et de la céréaliculture aux dépens des surfaces pastorales grâce aux facilités offertes par l'introduction et la généralisation de la mécanisation (déchaumeuse à disques) qui a permis le défrichage rapide et peu onéreux de grandes surfaces steppiques (KHATTELI, 1981 et 1984).

Le recours à cette technologie agressive pour labourer les steppes sableuses qui sont actuellement les plus attractives pour la céréaliculture et l'arboriculture, a favorisé, outre mesure, le déclenchement et l'accélération des processus de l'érosion éolienne.

Cette extension rapide des cultures au détriment des surfaces pastorales a diminué d'autant les zones traditionnelles de pâturage. Les troupeaux, dont l'effectif est resté toujours important, se trouvent progressivement refoulés sur des zones caractérisées par la réduction du couvert végétal des espèces vivaces et de leur phytomasse ce qui ouvre ainsi la porte aux processus de la dégradation.

Ceci est d'autant plus grave que les sols sont particulièrement sensibles à l'érosion éolienne qui décape les horizons sableux superficiels et engendre la formation des dunes (BEN DALI, 1987 ; AKRIMI et al., 1988 ; AKRIMI et ABAAB, 1991).

La sédentarisation des populations a, par ailleurs, conduit à la disparition ou à l'éclatement de beaucoup de grands troupeaux et leur remplacement par des petites unités qui pâturent presque toute l'année au voisinage immédiat des zones habitées provoquant ainsi un surpâturage localisé et une dégradation accélérée du milieu naturel dans un rayon d'une dizaine de kilomètres (FLORET et PONTANIER, 1982).

La conduite des troupeaux ne se pratique quasiment plus selon l'ancienne technique du semi-nomadisme, qui permettait plus facilement de s'adapter à la variabilité spatiale et temporelle des pluies et des ressources pastorales.

Ainsi la détérioration des anciens systèmes de gestion de l'espace rural a conduit à la rupture parfois irréversible des équilibres écologiques issus des usages anciens des terres et des ressources végétales. La gestion des ressources naturelles est alors déséquilibrée et les processus de dégradation du milieu naturel se sont amplifiés. Ils se manifestent par une décroissance continue de la productivité biologique des écosystèmes touchés et des niveaux de vie des populations (FLORET et al., 1976).

2 - Principaux résultats obtenus

Les recherches que nous avons entreprises ont permis d'aboutir à plusieurs résultats qui concernent à la fois, la connaissance des processus fondamentaux de l'érosion éolienne et la mise au point des solutions pratiques de lutte contre ce phénomène tant, sur le plan curatif que préventif.

2.1- Connaissance fondamentale des processus de l'érosion éolienne

Les observations effectuées à travers les différentes stations d'étude (Ben Gardane, Dar Dhaoui, Sidi Makhoulf, Menzel El Habib et Noueïl) concordent très sensiblement pour montrer que la désertification, dont l'ensablement constitue le phénomène le plus grave, ne devrait en aucun cas être considérée comme une progression irrésistible et sans merci des masses sableuses en provenance du Sahara.

Elle n'est, en réalité qu'un phénomène localisé, discontinu, diffus et non généralisé qui se déclenche en tout point où se produit une rupture d'équilibre entre un milieu vulnérable et à équilibre précaire et son exploitation par l'homme d'une manière excessive et sans discernement (Khatteli, 1981, 1993).

En effet, les dunes de sable mobiles rencontrées souvent à proximité des oasis, des périmètres agricoles et des villages se sont formées par suite de l'amenuisement du couvert végétal sous des multiples effets anthropiques (éradication des ligneux, surpâturage, mise en culture etc...).

Leur progression se fait en direction du Sahara en général et de l'Erg Oriental en particulier et non l'inverse, comme on a souvent tendance à le croire, en raison de la dominance des vents actifs qui soufflent de l'Est, du Sud-Est et du secteur Nord sur ceux qui proviennent de l'Ouest et du secteur Sud (Khatteli, 1981, Khatteli et Bel Haj, 1993).

Au niveau de l'aménagement, les conclusions de ce travail sur la dynamique des vents et le déplacement des sables, soit à l'échelle particulière soit à l'échelle du mouvement des dunes, peuvent revêtir un intérêt pratique, permettant d'augmenter l'efficacité des opérations de fixation des dunes mobiles, telles que l'orientation des brise-vent mécaniques perpendiculairement à l'axe du déplacement résultant des barkhanes et la réalisation des travaux de stabilisation mécanique des dunes pendant les périodes qui sont caractérisées par un régime des vents actifs relativement calme.

Les opérations d'entretien et de rehaussement des palissades installées devraient, par contre, avoir lieu durant les périodes ventées pour éviter leur ensevelissement rapide sous les sables mobiles (Khatteli, 1996).

Le recours à des brise-vent bas (1 m de hauteur au maximum), avec une perméabilité homogène et sans brèche à la base, est vivement recommandé pour lutter efficacement contre les sables mobiles qui se déplacent, comme nous l'avons démontré, presque entièrement au niveau des cinquante premiers centimètres de la surface du sol.

2.2- La lutte contre l'érosion éolienne

Dans ce travail de recherche, nous avons voulu montrer que l'érosion éolienne dans notre zone d'étude est un phénomène anthropique qui, une fois initié, tend à se généraliser et à empiéter sur des zones environnantes encore intactes. Les essais menés, au niveau stationnel, ont permis de montrer qu'il est possible de lutter contre cette dégradation aussi bien au niveau curatif que préventif.

2.2.1 la lutte curative contre l'érosion éolienne

2.2.1.1 Sous les oliveraies ensablées

Il a été démontré que l'ensablement des oliveraies résulte d'un travail excessif du sol avec la déchaumeuse à disques qui pulvérise la terre labourée et le rend très vulnérable à l'érosion éolienne. Celle-ci se manifeste par le déchaussement des oliviers, là où s'exerce la déflation et la formation des dunes mobiles, là où s'effectue le dépôt.

La lutte contre ce phénomène est possible grâce au recours à la technique du " Mulching " qui consiste en un épandage de résidus végétaux sur la surface du sol après avoir nivelé les dunes.

En effet, nous avons remarqué que les processus d'érosion se sont trouvés fortement amoindris et aucune nouvelle formation dunaire n'a été observée depuis, sur le site (Khatteli, 1984).

Parmi trois résidus végétaux essayés, les brindilles d'*Artemisia campestris* semblent être plus indiquées pour la fixation des dunes mobiles que les deux autres (*Rhanterium suaveolens* et feuilles de palme) compte tenu de leur efficacité technique, de leur faible valeur pastorale et économique et de leur disponibilité en quantité importante sur les parcours dégradés et les friches postculturales de la zone d'étude.

Par ailleurs, il est vivement recommandé de remplacer la déchaumeuse à disques par des outils à dents, à socs et/ou à lame qui se sont avérés, de loin moins dégradants.

Le maintien des bandes de végétation naturelle entre les lignes des oliviers et leur utilisation comme brise-vent pour la lutte contre l'érosion éolienne, est également conseillé.

2.2.1.2 Dans les terrains de parcours dégradés

Le travail réalisé à Menzel El Habib, sur une steppe à *Rhanterium suaveolens* dégradée sous la pression des multiples effets anthropiques (surpâturage et arrachage des ligneux) a montré l'impact positif de la mise en défens sur la lutte contre l'érosion éolienne.

L'évolution écologiquement progressive de la zone d'étude, sous l'effet de la protection, s'est traduite du point de vue géomorphologique par :

- une extension spatiale rapide des nebkhas aux dépens des dunes mobiles et de la zone dénudée;
- une diminution de la sensibilité de la surface du sol à l'érosion éolienne;
- une tendance générale vers l'établissement d'un équilibre éco-pédomorphologique.

La mise en défens, des zones dégradées et subissant d'intenses processus d'érosion éolienne pourrait donc être envisagée comme **une solution de lutte efficace et peu coûteuse contre l'érosion éolienne**, si toutefois le seuil d'irréversibilité n'est pas encore atteint.

2.2.1.3 La fixation mécanique des dunes mobiles

Les essais comparatifs entrepris dans la station de Sidi Makhoul en vue de déterminer la densité du réseau de clayonnage la plus indiquée pour une stabilisation rapide et efficace des dunes mobiles ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

Les carreaux en plaques de 20 m de côté et les lignes espacées de 20 m peuvent être considérés comme les traitements les plus appropriés, tant sur le plan des quantités de sable piégé que sur le plan de la stabilité de la surface du sol vis à vis des processus de l'érosion éolienne à l'intérieur de chaque parcelle;

- les lignes espacées de 40 m, bien qu'elles soient significativement supérieures au témoin, se sont révélées peu efficaces, alors que les carreaux de 40 m de côté occupent une position intermédiaire;
- si l'on prend en considération la rapport coût/efficacité technique des différents traitements, les lignes de 20 m de côté s'avèrent de loin plus intéressantes que les carreaux de 20 m de côté parce qu'ils ont coûté presque deux fois moins chers (la moitié de la quantité totale des plaques utilisées par comparaison aux carreaux de 20 m de côté).

Ce résultat permettra ainsi de réduire, dans de fortes proportions, les coûts actuels des opérations de stabilisation mécanique des dunes effectuées par les services techniques régionaux de la Direction Générale des Forêts.

- les six premiers mois de l'essai sont caractérisés par une grande instabilité du modelé éolien à l'intérieur des différentes parcelles qui a provoqué d'importants dégâts sur les plaques mises en place. Il est par conséquent vivement déconseillé de commencer les opérations de plantation des arbres durant cette période pour éviter l'ensevelissement des jeunes plants, en cas de dépôt et leur déchaussement, en cas de déflation. Les efforts des aménagistes durant cette période devront être orientés beaucoup plus vers l'entretien régulier des palissades que vers la plantation. Le reboisement ne doit démarrer qu'à partir de la deuxième année, ou du moins, six mois après la mise en place du dispositif de stabilisation mécanique des dunes, après que les formes dunaires vives auront pratiquement disparu à l'intérieur des différentes parcelles;

- les sols dunaires, surtout quand ils sont peu mobiles, constituent généralement des milieux très favorables au développement de la végétation naturelle grâce à leur grande capacité de conserver l'humidité à faible profondeur. Ils répondent généralement très bien à la mise en défens dans le sens d'une évolution progressive du couvert végétal et une mise en défens pourrait suffire pour fixer la surface du sol. Celle-ci épargnerait ainsi le recours au reboisement, d'où une réduction importante des charges inhérentes à la fixation des dunes mobiles et à la restauration des terres dégradées.

2.2.2 La lutte préventive

Les conclusions des essais menés à Dar Dhaoui, aussi bien sur les outils de travail du sol que sur les bandes de végétation naturelle pour la lutte préventive contre l'érosion éolienne dans les terrains cultivés en céréales, concordent sensiblement pour mettre en évidence l'extrême fragilité des écosystèmes arides et notamment les écosystèmes à sols sableux. En effet, il s'est avéré que toute exploitation inconsidérée des ressources naturelles dans ces zones (eau, sol, végétation) se traduisait inéluctablement par un déclenchement de l'érosion éolienne qui, une fois initié s'auto-entretient et s'intensifie par la suite, au gré des vicissitudes anthropiques et climatiques.

La mise en culture peut à cet égard être considérée comme un facteur de dégradation des sols du Sud tunisien puisqu'elle provoque une importante déflation éolienne des sols labourés. Cette érosion est maximale dans le cas, où le travail du sol est effectué avec la déchaumeuse à disques. Son utilisation, notamment sur les sols sableux, ne saurait désormais être tolérée que dans le cas d'une amélioration de la rugosité de la surface du sol par incorporation de résidus végétaux ou dans le cas du maintien de bandes de végétation naturelle non labourées entre les bandes cultivées.

Si la première solution s'avère difficilement réalisable parce qu'elle requiert un investissement pour la fourniture des résidus végétaux (foin, paille ou toute autre végétation naturelle disponible sur place), la deuxième solution nous semble, par contre à la portée des agriculteurs, car son utilisation ne nécessite, au préalable, aucun investissement. Elle est, de ce fait, facilement transposable à grande échelle.

Parmi les largeurs testées, nous pouvons considérer que celles de 10 et de 20 m sont plus efficaces que la bande de 5 m de largeur parce qu'elles ont permis d'obtenir, d'une part, une nette diminution de l'érosion éolienne et d'autre part, une légère amélioration des rendements en orge.

Les bandes non labourées peuvent, en plus de leur intérêt écologique (conservation des ressources végétales naturelles en voie d'extinction à cause du défrichement), contribuer à l'alimentation des animaux grâce à leurs potentialités pastorales.

Les outils à dents (Tiller) et à lame (Sweep), bien qu'ils aient permis de réduire dans de très fortes proportions, l'érosion éolienne par comparaison à la déchaumeuse à disques, ne pourraient pas être préconisés pour remplacer cette dernière dans les zones céréalières, en raison des faibles rendements en orge qu'ils ont donnés. Leur utilisation est, toutefois, recommandée dans les zones arboricoles (cas des oliviers).

La déchaumeuse à socs apparaît, à priori, comme étant l'outil le mieux indiqué parce qu'elle a permis de réduire les pertes en sol de trois fois, en moyenne, par rapport à la déchaumeuse à disques, tout en produisant une récolte annuelle, somme toute, proche de la moyenne générale.

Plusieurs résultats des recherches que nous avons menées sur l'érosion éolienne en Tunisie aride et désertique sont actuellement utilisés notamment par :

- les services techniques régionaux de la Direction Générale des Forêts, tels que ceux relatifs aux choix de la meilleure perméabilité des brise-vent mécaniques ainsi que leur orientation par rapport aux vents actifs dominants. Ces conclusions sont valorisées particulièrement à Médenine, Gabès et Kébili.

- les agriculteurs à Ben Gardane et à Zarzis, en ce qui concerne le maintien des bandes non labourées entre les bandes cultivées, le remplacement progressif de la déchaumeuse à disques par des outils à dents, notamment dans les champs d'oliviers.

La fixation des dunes dans les olivettes ensablées moyennant la technique de " Mulching", commence également à intéresser, certains oléiculteurs dans la région de Zarzis.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akrimi, N., Ben Dali, F., Dicastri, F., Chaieb, M., El Hamrouni, A., Floret, C., Le Floc'h, E., M'charek, A., Neffati, M., Pontanier, R., Rambal, S., Zaafouri, M.S. Et Zemzemi, J., 1988 : Réhabilitation de la valeur des terres à pâturage et des zones affectées par l'érosion éolienne en Tunisie présaharienne. Rapport CCE, contrat T.S.D.A 238 F (TT) et T.S.D 414 TN, 135 p + annexes.
- Akrimi, N., Abaab, A., 1991 : Données générales sur la désertification en Tunisie. Revue des Régions Arides, Numéro spécial, 9-13.
- Ben Dali, F., 1987 : Dynamique de la végétation et mobilité du sable en Jeffara tunisienne, thèse doc. U.S.T.L, Montpellier, 243 p.
- Floret, Ch., Le Floc'h, E. Et Pontanier, R., 1976 : Carte de la sensibilité à la désertification en Tunisie centrale et méridionale : (processus de dégradation en cours des sols et de la végétation, ech. 1/1.000.000. Sols de Tunisie n° 8, 4-68, 1 carte couleur.
- Floret, Ch., Pontanier, R., 1982 : L'aridité en Tunisie présaharienne, climat, sol, végétation et aménagement. trav. Docum. ORSTOM, 150, 544 p.
- Khatteli, H., 1981 : Recherches stationnelles sur la désertification. Dynamique de l'érosion éolienne dans la Djefara Tunisienne, thèse de 3ème cycle, Paris I, 218 p.
- Khatteli, H., 1983 : Etude stationnelle de l'érosion éolienne sur les terrains cultivés en céréales dans la Jeffara. Actes du séminaire sur les problèmes de l'érosion éolienne dans les zones prédésertiques UNESCO/MAB/IRA-Jerba (Tunisie) 21-26 novembre 1986, 1023-106.
- Khatteli, H., 1984 : Recherches sur la désertification dans la Jeffara (Sud-tunisien), Revue Tunisienne de Géographie, 12-53 p.
- Khatteli, H., Bel Haj, N., 1993 : Contribution à l'étude du vent en rapport avec l'érosion éolienne dans le Nefzaoua (Sud-Ouest tunisien). Sécheresse n° 2, vol 4.
- Khatteli, H., 1996 : Erosion éolienne en Tunisie aride et désertique - Analyse des processus et recherches des moyens de lutte. Thèse de doctorat Ph. D, Université de Gent Belgique, 180p.
- Le Houerou, H.N., 1959 : Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale, 1ère partie : les milieux naturels et la végétation, 281 p, 2ème partie : la flore, 277 p, Inst. Rech. Sah. Alger.
- Le Houerou, H.N., 1969 : La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues du Maroc, de l'Algérie et de la Libye) thèse Doct. Sci., Ann. Inst.Nat. Rech. Agron. Tunis, 42 (5) : 1-620, 1 carte couleur, 1/500.000, 2 feuilles, 40 phot., 28 figs., 46 tabl.
- Le Houerou, H.N., 1990 : Recherches biogéographiques sur les steppes du Nord de l'Afrique, thèse doct. d'état de géographie, Université Paul. Valéry Montpellier, 3 vol.
- Talbi, M., 1993 : Contribution à l'étude de la désertification par télédétection dans la plaine de la Djefara du Sud-Est tunisien, thèse de doctorat en géographie, Université de Tunis I, 305 p.
- Telahigue, T., 1981 : Contribution à l'étude des déséquilibres écologiques et agricoles en zone aride tunisienne : le cas des friches post-culturelles dans la région de Bir Lahmar. thèse doc. ing. ecol. U.S.T.L, Montpellier, 159 p.

-
- Zaafouri, M.S., 1993 : Contraintes du milieu et réponse de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne, thèse doct. Univ. Sc. Tech. Languedoc, Montpellier, 243p.

ENSABLEMENT ET DÉSERTIFICATION DANS LA VALLÉE DU DRA: LE MYTHE DE LA FLUCTUATION DE LA LIMITE NORD DU DÉSERT

Aïcha BEN MOHAMMADI*, Lahcen BEN
MOHAMMADI**, Alain MOREL**, Michel
CHARDON** et Mohamed. EL HANBALI**

RESUME

La vallée moyenne du Drâ souffre depuis quelques années d'une prolifération récente des accumulations sableuses et de l'apparition de plus en plus de surfaces dénudées, manifestations les plus spectaculaires du phénomène de désertification. Face à ce danger, différents projets de lutte ont été réalisés. Cependant si certains ont été concluants, d'autres; au contraire; constituent un échec total car ne tenant pas compte des sens réels d'apport du sable. L'étude de la dynamique actuelle des sables dans la vallée a montré la prédominance d'une érosion hydrique importante liée au ruissellement, associé à une érosion éolienne qui aboutit à un ensablement généralisé des palmeraies. La recherche des zones sources de sable par comparaison des différents sédiments éoliens et alluviaux, à partir d'analyses granulométriques, morphoscopiques et minéralogiques, nous a permis d'apporter des précisions sur l'évolution du matériel sableux dans cette vallée et la localisation des zones pourvoyeuses de sables. L'invasion actuelle du sud - est marocain par des dunes mobiles en provenance du Sahara n'est donc qu'un mythe sans fondement scientifique. Il s'agit là de conclusions qui ont toute leur importance dans la définition de la stratégie de lutte contre l'ensablement et la désertification au sud-est Marocain.

Mots - clés: Vallée - Drâ - Ensablement - désertification - mythe - érosion hydrique et éolienne.

SUMMARY

Sanding-up and desertification of Drâ valley: fluctuation legend of north desert margin. The middle Drâ valley has experienced, for years, large scale desertification and sanding phenomena. There are the most spectacular manifestations of desertification. Faced with that situation, different projects were made. However, if some were conclusive, others; in opposition failed because they didn't consider the real directions of the sand. The study of the present dynamics has shown first, that an intense hydrous erosion linked to rainwash is associated to a substantial aeolian erosion which prevails and leads to a general sanding of palm-groves and infrastructures. The search of the sand source areas, in comparison to the different aeolian and alluvial sediments, from granulometric, morphoscopic and mineralogic analyses, has made it possible to specify the evolution of the sandy material, which causes sanding in this valley, its nature and its components, then the size of the sand source areas can be localized.

Key-words: Drâ valley - sanding-up - desertification - legend - hydrous erosion - aeolian erosion.

INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, la désertification et les problèmes corollaires de l'ensablement ont soulevé un intérêt et une prise de conscience dans le monde et en particulier au Maroc. Ce vif intérêt actuel pour ces problèmes est largement justifié par les menaces qu'ils exercent sur le tiers de la surface totale des continents soit, 48 millions de km² ainsi que les conditions de vie de 850 millions d'Hommes (H.N.LE HOUEROU, 1987). En effet depuis le début du XX^{ème} siècle, la dégradation des terres s'est considérablement accentuée. L'utilisation de ces dernières s'est effectuée pendant des milliers d'années dans des conditions d'équilibre écologique, mais actuellement de graves déséquilibres apparaissent et se traduisent dans les paysages par l'apparition de faciès désertiques même là où il n'y en avait pas.

La vallée moyenne du Drâ est l'une des régions du Maroc les plus affectées par l'ensablement et la désertification. Depuis quelques décennies des amoncellements et de vastes étendues de sable allant de minces pellicules jusqu'à des dunes hautes de plusieurs mètres envahissent de plus en plus les terres utiles de cette vallée (Tab.1).

La compréhension de ces phénomènes passe par:

- La détermination des conditions naturelles et /ou anthropiques à l'origine du déclenchement de ces processus ou de leur accentuation;
- La détermination de la dynamique actuelle régnant dans la vallée;
- La détermination de l'origine des sables véhiculés dans la vallée.

* Faculté des Sciences, Département de Géologie, BP 133, Kénitra, Maroc;

**Institut de Géographie Alpine, 17 rue Maurice Gignoux, Grenoble, France

Matériel et méthode

-Sur terrain:

Nous avons défini des transects d'échantillonnages, de l'amont à l'aval de la vallée. En raison de la moyenneté des dépôts alluviaux et éoliens dans la vallée, l'échantillonnage a concerné à la fois ces deux types de dépôts.

La compilation bibliographique et des enquêtes auprès des populations locales ont permis d'avoir des données sur l'occupation des sols et les pratiques culturelles.

Le dénombrement des manifestations prédominantes d'érosion actives dans la vallée a été possible en conjuguant reconnaissances de terrain et travaux de compilation géomorphologique. Le but ultime de ce travail étant l'élaboration d'une carte à petite échelle des manifestations actuelles et potentielles (zones à risque) de l'érosion (carte en cours de réalisation).

-Au laboratoire:

-Trois types d'analyses ont été effectuées pour déterminer l'origine des sables véhiculés dans la vallée:

-la granulométrie par tamisage à sec sur série de tamis de type AFNOR

-la morphoscopie des grains de quartz, selon la méthode préconisée par A. Cailleux et J. Tricart (1959)

- La minéralogie (minéraux lourds) selon la technique de A. Parfenoff et al (1970).

Causes naturelles et actions anthropiques

- Le milieu naturel

La vallée moyenne du Drâ s'étend de l'endroit où le Drâ sort d'un défilé étroit peu à l'amont du village d'Agdz, jusqu'au bord occidental de la palmeraie de M'hamid. La vallée est longue de 200 km, sa largeur moyenne est de 3 km, variant entre 0,5 et 10 km. Elle est orientée NO-SE, et bordée au nord-est par le Jbel Sarhro, à l'Est par la remontée nord de la chaîne du Bani, au sud par les hauts plateaux de la Hamada du Drâ et à l'ouest par l'Anti-Atlas (fig.1). La vallée est formée par un ruban de six palmeraies, individualisées et séparées entre elles par des resserrements de la vallée (foum): Mezguita, Tinzouline, Ternata, Fezouata, Ktaoua et M'hamid (fig. 2). Les six palmeraies ont une superficie d'environ 25.000 ha. L'ensemble de la vallée et des zones limitrophes, reçoit moins de 100 mm de précipitations, valeur utilisée généralement comme limite nord du Sahara. De point de vue lithologique, la vallée du Drâ présente un éventail stratigraphique et lithologique assez varié mais qui reste à dominance de grès et de schistes, principalement ordoviciens. Ces séries avec les dépôts alluviaux et les formations quaternaires, constituent les terrains les plus sensibles de la vallée aux processus érosifs actuels. L'aridité du climat est essentiellement marquée par une pluviosité faible et des mois d'été très chauds. Cette aridité globale est renforcée par les traits climatiques suivants:

Tableau 1 : Types de formations et quantités de sables piégés dans la vallée du Drâa

Type de formations	Hauteur	Localisation	Quantité de sable stocké (m ³ /ha)
Voile sableux	>1m	Plaine d'El Feija, regs, terrasses, glacis, routes, versants du Bani,	-
Accumulations sableuses	>1m	Palmeraies d'Amezrou, Tinfou, Ktaoua et les exploitations dans la Feija	10 000 m ³ /ha
Voiles sableux, micro-dunes	<1m	Plaine d'El Feija, chenaux	-
Dunes en croissant (barkhanes)	5-15 m	Amerzou, Tinfou, Tiguida, Foum Takat, M'hamid	-
Amas sableux	10 à 50 cm	regs, glacis, terrasses, chenaux	2000 à 3000 m ³ /ha
Sifs et barkhanes	2 à 5 m	Tinfou, Tiguida, M'hamid	10 000 m ³ /ha
Dunes en cordons dissymétriques	3 à 5 m	Tinfou, Amerzou, M'hamid	15-20000 m ³ /ha
Dunes en cordons parallèles	3 - 5 m	M'hamid	40 000 m ³ /ha
Dunes alvéolées	5 à 15 m	Tiguida	≈230 000 m ³ /ha
Glacis terrasses	-	-	-

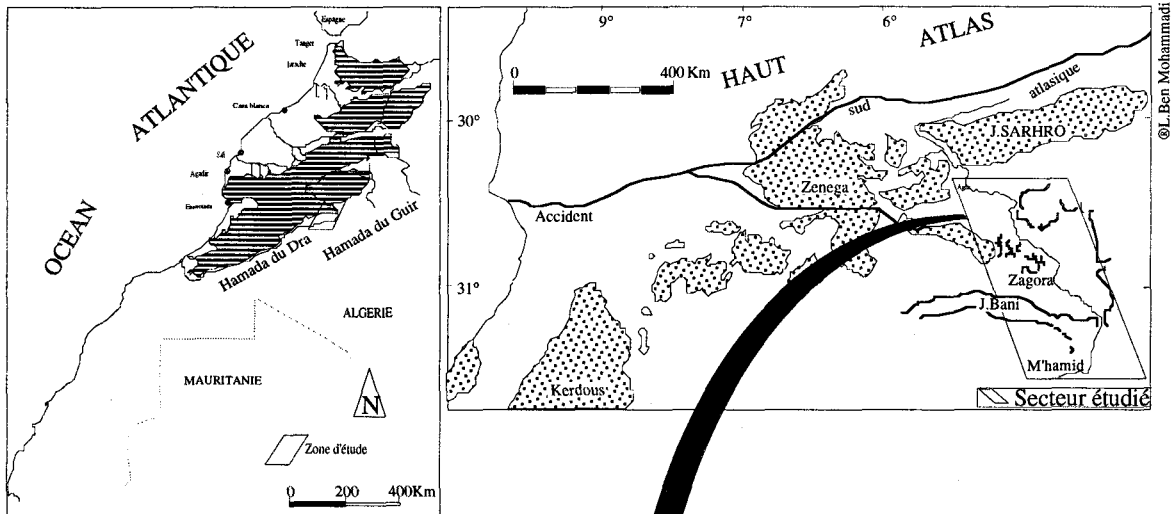


Fig. 1 : Carte de situation de la vallée moyenne du Drâ

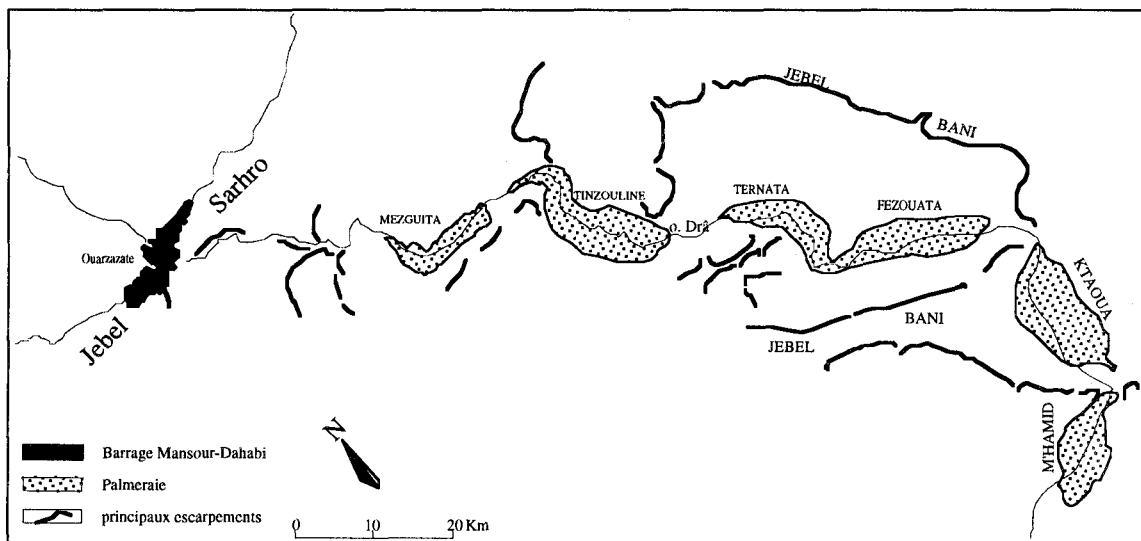


Fig. 2 : Palmeraies de la vallée moyenne du Drâ

- des précipitations faibles (50 à 150 mm /an) mais dont les maxima se réduisent à quelques jours de la saison humide. Leur fortes intensités favorisent le ruissellement et l'érosion;
- des vents efficaces (vitesse > 4m/s) venant de deux directions NO-SE et NE-SO
- la succession depuis 1880 de périodes de sécheresse plus ou moins longues:
1880-1891; 1913-1918; 1933-1939; 1946-1947; 1955-1957; 1973-1976; 1981-1984; 1987-1990; 1993-1995.

La limite septentrionale de la vallée moyenne du Drâ correspond au passage de l'étage bioclimatique saharien à hiver frais à l'étage bioclimatique à hiver tempéré. Ce passage correspond exactement au début de la steppe à *Acacia raddiana* qui est la seule essence physiologiquement caractéristique du paysage de la vallée (29.000 ha) et qui ne subsiste que sous forme d'îlots très clairs et dégradés. La dégradation de ces peuplements a conduit au remplacement de cette forêt "savane" par une steppe chamaephytique. Cette végétation est clairsemée partout en dehors des lits d'oueds et au fond des vallées et dans les ravins.

Causes anthropiques

C'est vraisemblablement en raison de la position stratégique du site qui permet le contrôle des voies de passage, de son isolement qui facilite la défense, de sa richesse en terres cultivables, en eau et en pâturages qui permettent une vie facile, que cette région a connu une destinée très mouvementée. Elle a été un centre de vie sédentaire vital où les races les plus diverses se sont côtoyées, battues et parfois mélangées. Le résultat, est une population de diverses ethnies: Les Arabes "Mâquil" venant de l'orient, les Berbères "Sanhaja" anciens nomades du Sarhro et les habitants autochtones "Draouas" paysans sédentaires, qui constituent le groupement humain le plus ancien de la vallée. Ces agriculteurs exploitaient d'une façon très ingénieuse les deux rives de l'oued. Ils ont su sauvegarder leur environnement par des méthodes d'exploitation traditionnelles, adaptées aux ressources naturelles dont la principale était le nomadisme (L.BEN MOHAMMADI, 1995).

D'une manière générale, on peut dire que les systèmes archaïques et traditionnels de la vallée jadis, ont pu intégrer d'une façon remarquable et efficace, tous les aléas naturels, dans leurs stratégies. Mais depuis l'introduction d'un autre style de vie fondé sur la sédentarisation, la fixation des frontières nationales et internationales, l'extension des cultures, un réel déséquilibre s'est installé dans la vallée.

Dynamique actuelle dans la vallée moyenne du Drâa

Actuellement, deux types d'évolution du modelé coexistent et se développent ensemble dans la vallée moyenne du Drâ. Il s'agit du couple déflation éolienne-dépôts éoliens et du ruissellement diffus voire concentré (Tab.2).

En effet, le faciès morphologique de la vallée est marqué par :

- Une forte érosion hydrique, en nappe sur les glacis ou en ravines sur les regs, mettant à nu leur substrat.
- Une érosion éolienne intense sur les matériaux superficiels

Si l'érosion éolienne joue un rôle très visible dans la morphogenèse des zones arides, l'érosion hydrique par le ruissellement, a une activité tout aussi marquée (C.VALENTIN, 1994).

Tab. 2 : Formes de relief et types d'érosion

Versants des plateaux	ruissellement diffus et concentré	déflation en nappe
Glacis, terrasses et reg		
glacis caillouteux	ruissellement diffus	déflation faible
glacis: pierrailles et blocs	ruissellement en nappe, plus petits chenaux	déflation de surface
glacis bombés + pierrailles	ruissellement diffus	déflation moyenne
glacis entaillés de chenaux	ruissellement diffus et concentré	déflation moyenne
terrasses caillouteuses	ruissellement faible et diffus	en nappe
regs caillouteux plats	ruissellement diffus	déflation faible
Gorges et foug		
foug Takat	ruissellement concentré	forte déflation (couloir du vent)
foug Tidri	ruissellement concentré	" " " " "
Tizi-n-Mgharbia	ruissellement concentré et diffus	accumulation en voile
Tizi-n-Tafilalt	" " " " " " "	" "
Tizi-n-Janiya	" " " " " "	" "
Plaine alluviale		
dépressions, épandages	alluvionnement	déflation forte
accumulations alluviales actuelles	épandages	reprise des sédiments et accumulations
accumulations gypso-salines	épandage + stagnation	accumulation en masse
chenaux	écoulement concentré	accumulation en masse
dunes vives	-----	accumulation en masse
dunes fixées	infiltration	accumulation en masse

Le ruissellement est très actif, sur les versants des Jebels, sur les piémonts, les glacis et le long des berges d'oueds, et ce malgré la faiblesse des précipitations, qui sont de l'ordre de 50 à 150 mm en moyenne. Les fortes intensités des averses et leur caractère orageux, combinés avec les différents facteurs topographiques (inclinaison et longueur des pentes), lithologiques (nature et résistance du substrat), hydrologiques (Dans la vallée le réseau hydrographique est encore fonctionnel bien que dégradé) et édaphiques (sol nu peu protégé par une végétation limitée), facilitent le ruissellement sous toutes ses formes dans la vallée. En effet, dans cette région où le sol est nu et la végétation clairsemée, les pluies orageuses (quelques mm seulement), sont suffisantes pour provoquer un certain ruissellement et un bref écoulement dans les oueds. J. DUBIEF [in DRESCH, 1982] a montré qu'au Sahara, des averses de 5 à 8 mm, peuvent déterminer un ruissellement. Or, dans la vallée, des averses sporadiques de 20 à 25 mm ne sont pas rares pendant la saison des pluies.

Le ruissellement concentré se montre surtout sur les versants des Jebels Bani, Tadrart, Tibaskoutine et Adafane (W.VIERTMANN, 1994) où il a conduit généralement à la mise à nu du substrat. En effet, la raideur des versants combinée avec des événements pluvieux de courte durée, mais très intenses, sont à l'origine de ruissellements forts pendant la saison des pluies. La disposition et la structure du relief de la vallée favorisent le rassemblement des eaux de ruissellement, dans des oueds, générateurs d'amples cônes de déjection (fig.3). Les formes issues de cet écoulement varient de la simple rigole, au ravin gigantesque; de plusieurs mètres de profondeur; qui témoigne d'un degré d'agressivité supérieur et d'une concentration de pluie plus forte.

Le ruissellement diffus; moins actif; s'observe surtout dans la plaine d'El Feija, sur les terrasses limoneuses inclinées légèrement et dans la partie centrale de l'oued Meyit et l'oued Feija.

L'érosion éolienne est également très active dans la vallée du Drâa. Elle s'y manifeste par des processus de détachement, de transport et de déposition des particules du sol par l'action de vents efficaces. L'érosion éolienne se manifeste dans la vallée du Drâ par des aires de transport de sable et des aires de dépôt de sable.

Par ailleurs, divers indices relevés sur terrain ou sur photographies aériennes montrent:

- des figures de transport du à la saltation
- des trainées de déflation
- des traces de corrosion éolienne (Yardang)

Notons enfin, quelques remarques qui permettent de comprendre cette liaison entre les processus hydriques et éoliens.

- les zones d'accumulation de sables se trouvent toujours (ou presque) près de zones d'épangage alluviale ou lits d'oueds. Cette relation de voisinage est vérifiée partout sur terrain

- Pendant les périodes de sécheresse prolongées, les épandages de sables gisants au niveau des coudes et confluences d'oueds, sont remaniés par le vent et vont alimenter en sable des secteurs généralement proches. Ce matériel alluvial est trié, repris par la déflation, qui prendra soin de sa distribution.

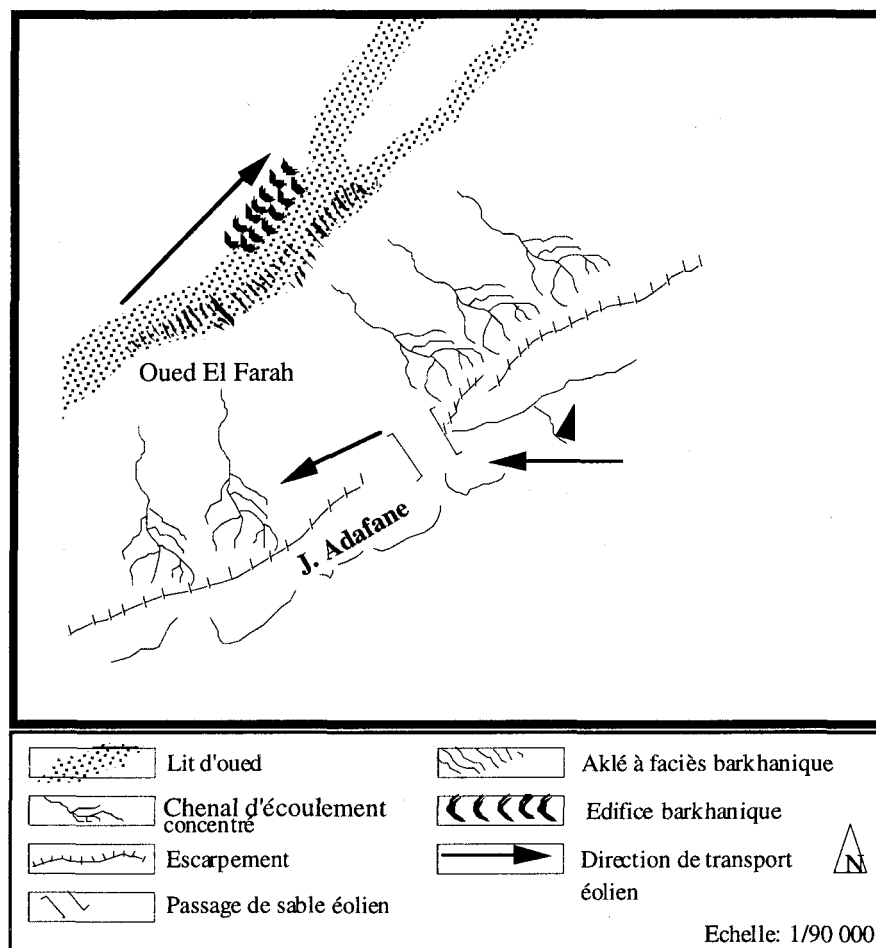


Fig. 3 : Ruissellement concentré dans le secteur Est de la palmeraie de Zagora

Résultats

Granulométrie

L'étude des différents échantillons des dépôts alluviaux actuels, rharbiens, soltaniens et dunaires, nous permet de formuler les conclusions suivantes :

-Les paramètres granulométriques des différents échantillons prélevés, indiquent un tri médiocre pour les sédiments fluviaux, tandis que les sables des basses terrasses et les sables des édifices dunaires se caractérisent par un meilleur tri, lié à une activité éolienne intense ;

-La comparaison des courbes enveloppes de tous ces sédiments (fig. 4 et 5), nous permet de rapprocher les sables dunaires, beaucoup plus des dépôts alluviaux soltaniens qu'à ceux rharbiens ou actuels. Les dépôts fluviaux actuels sont sensiblement plus fins que ceux des systèmes dunaires. Ils s'apparentent beaucoup plus aux petites accumulations sableuses discontinues. Par ailleurs, l'humidité importante de ces dépôts (alluviaux) actuels, exclut toute prise en charge directe par le vent. En effet, l'humidité de ces sédiments s'oppose à l'action éolienne. Une teneur en eau de 2 à 3 % dans les sables nécessite une importante vitesse du vent pour permettre son arrachement. Signalons toutefois que ce processus demeure toujours possible si ces alluvions restent à sec assez longtemps pour que la dessiccation s'y développe et permette l'attaque de ces derniers.

La courbe enveloppe des dépôts soltaniens est parfaitement superposable à celle des dépôts éoliens (fig. 5), ce qui permet de penser que ces derniers sont issus des dépôts soltaniens

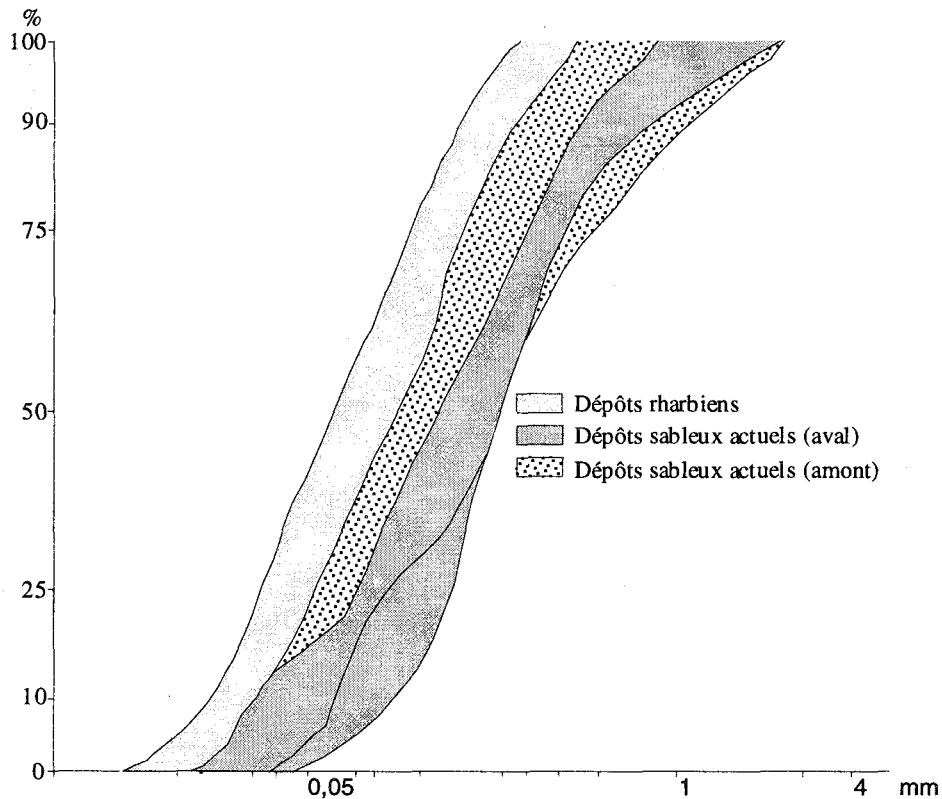


Fig. 4 : Courbes enveloppes des dépôts rharbiens et éoliens

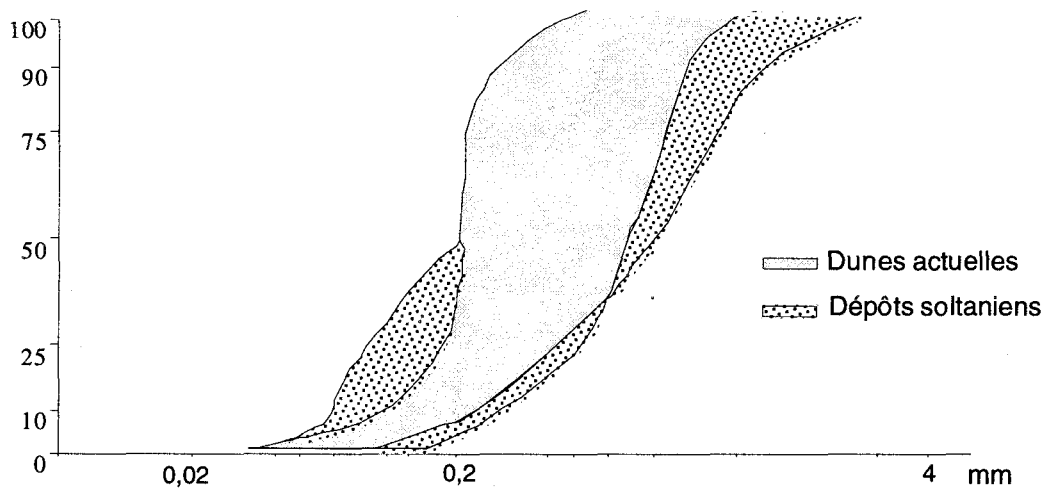


Fig. 5: Courbes enveloppes des dépôts soltaniens et éoliens

Morphoscopie

La morphoscopie des grains de quartz a été pratiquée sur les dépôts fluviaux actuels, les sédiments rharbiens, soltaniens et sur les sables dunaires.

Les sables dunaires montrent une prépondérance très nette de grains picotés mats qui dominent avec des pourcentages allant de 38 % à 72%. Ils sont suivis de grains picotés luisants (16 et 30%) et de grains mats (6 et 26%). L'aspect picoté mat traduit une éolisation importante des grains et donc une dynamique éolienne active. Cependant les taux notables de grains picotés luisants plaident en faveur d'un façonnement hydrique des grains. L'aspect luisant résulte en général d'un brassage mécanique dans l'eau, ce qui suppose un séjour important des grains dans l'eau. L'empreinte laissée par cette histoire fluviale a survécu au façonnement éolien ultérieur. Ce qui nous amène à penser que l'action éolienne a été très faible, en tout cas, pas assez forte pour estomper l'empreinte fluviale (picoté luisant) et imposer les caractères ronds et mats, typiques du milieu éolien.

L'origine des accumulations éoliennes reste toujours proche géographiquement de ces dernières, ce qui démontre le caractère local des processus éoliens dans la vallée moyenne du Drâa.

La morphoscopie confirme ainsi les résultats de la granulométrie en traduisant cette liaison entre les matériaux alluviaux et dunaires. L'indice d'éroussé des sables dunaires calculé selon la classification de L.I.G.U.S., 1958 donne des valeurs qui vont de 0.224 à 0.292. Il traduit un éroussé assez important des grains.

L'indice d'éroussé calculé donne des valeurs qui sont nettement inférieures à celles des sédiments dunaires. Il varie de 0.120 à 0.196, ce qui est tout à fait normal pour l'usure acquise en général par les sédiments fluviaux et qui est de l'ordre de 0.200 [L. Le RIBAUT, 1977]. L'éroussé des grains s'améliore de l'amont à l'aval traduisant une usure plus importante des grains transportés le plus vers l'aval.

Conclusion :

Les résultats de la morphoscopie viennent confirmer ceux de la granulométrie. En effet l'empreinte du façonnement fluvial est présente un peu partout dans les sables dunaires et, atteste de l'origine alluviale de ces derniers. Les différents résultats de la morphoscopie et les mesures de l'indice d'éroussé nous permettent de dire que les dépôts alluviaux anciens participeraient davantage à l'alimentation en sables des accumulations dunaires de la vallée. En effet l'usure par le vent est très lente à acquérir et, tout indique que dans la vallée l'activité éolienne n'est pas très ancienne, ni assez intense pour confectionner des grains arrondis et mats à partir de grains non usés. Il s'agirait beaucoup plus d'une reprise de sédiments alluviaux qui recèlent eux, des pourcentages notables en grains éolisés. Les résultats obtenus sur l'éroussé des grains nous permettent de déclarer improbable les enlèvements directs des grains à partir d'affleurements géologiques.

Minéralogie

L'étude minéralogique des fractions sableuses des dépôts alluviaux actuels, anciens (rhariens et soltaniens) et des sables dunaires, est menée en complément des analyses granulométriques et morphoscopiques.

-Teneurs en minéraux lourds

L'étude des teneurs en minéraux lourds des dépôts alluviaux et éoliens montre des valeurs élevées pour les dépôts alluviaux soltaniens avec des pourcentages en fractions lourdes allant de 6,2% à 8,5%. Les dépôts alluviaux rhariens et actuels ont des teneurs allant de 4,2% à 5,8%. Les sédiments dunaires ont des teneurs plus faibles, qui ne dépassent pas 2,7%.

Cette évolution des teneurs depuis les dépôts alluviaux soltaniens en passant par les dépôts rhariens actuels et enfin, les sables dunaires, se marque par une diminution progressive des teneurs et une augmentation des minéraux à caractéristiques optiques très altérées et donc difficilement déterminables.

La diminution des teneurs en minéraux lourds des dépôts alluviaux jusqu'aux dépôts éoliens confirme le fait que ces derniers découlent des premiers. L'augmentation des minéraux difficilement déterminables, s'explique par le fait que les dépôts alluviaux actuels et anciens, ont eu à subir surtout, les effets de l'érosion hydrique, alors que pour les dépôts dunaires, l'érosion hydrique a été relayée par l'érosion éolienne.

- Cortège minéralogiques

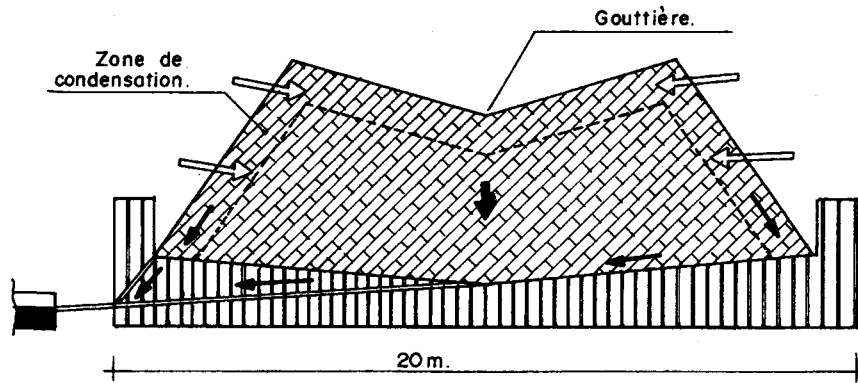
-Minéraux légers (< 2,9)

Les dépôts alluviaux et les dépôts éoliens examinés, présentent le même cortège minéralogique en minéraux légers quantitativement et qualitativement. Le quartz est partout dominant avec des teneurs variant de 86 à 91% et semble provenir d'au moins deux roches mères différentes, car beaucoup de grains montrent les traces d'un épisode métamorphique. Les feldspaths se présentent avec des teneurs de 7 à 12% et reflètent également plusieurs origines différentes. Il s'agit principalement de plagioclases (anorthite, albite et microcline).

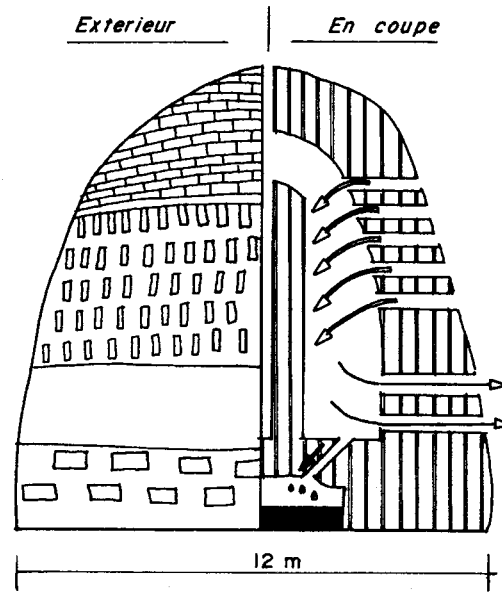
-Minéraux lourds (> 2,9)

Les principaux minéraux lourds rencontrés dans les dépôts alluviaux et éoliens de la vallée moyenne du Drâ sont pour les opaques l'ilménite et la magnétite. Pour ce qui est des minéraux transparents, on trouve principalement le zircon, le rutile, l'andalousite, le disthène, la staurotite et le grenat. Accessoirement, on rencontre le sphène, l'anastase, la brookite, l'hornblende, l'apatite et l'épidote.

A_ FEODOSIA (Crimée)



B_ TRANS en PROVENCE (France)




 Gros galets.

 Maçonnerie.

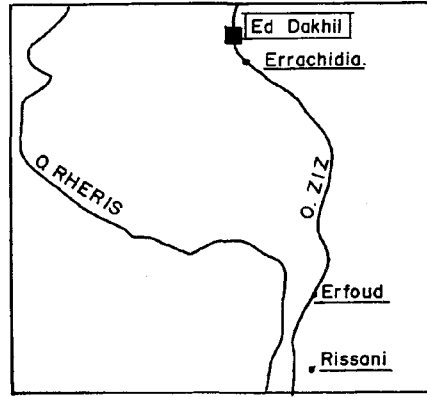
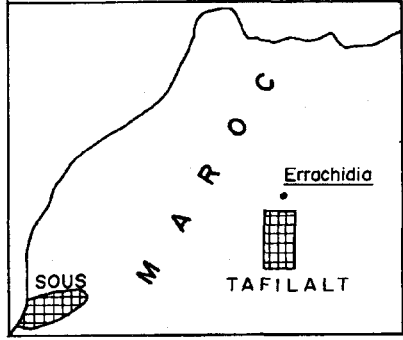
 Air humide

 Eau.

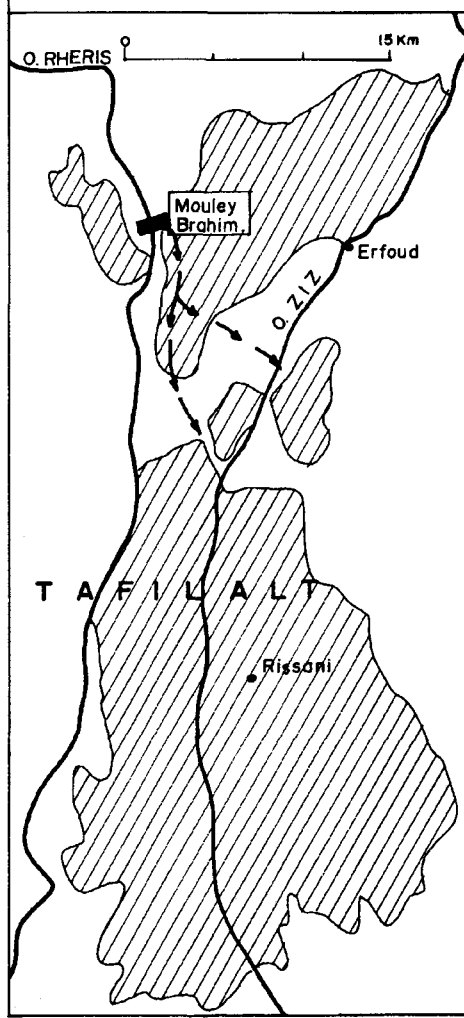
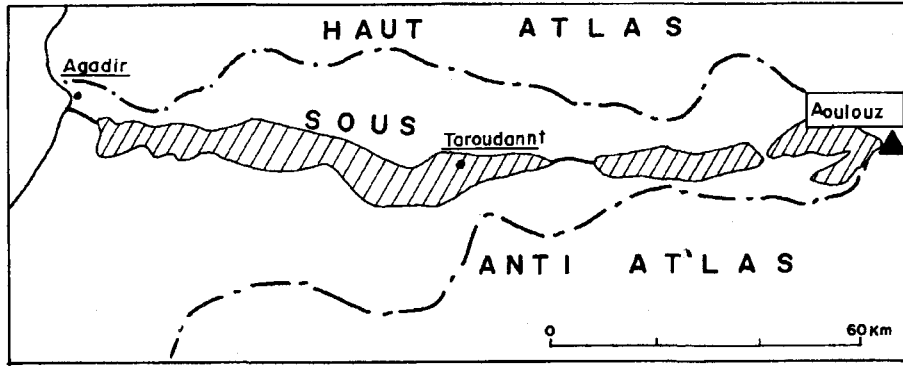
 Air sec

 Reservoir d'eau.

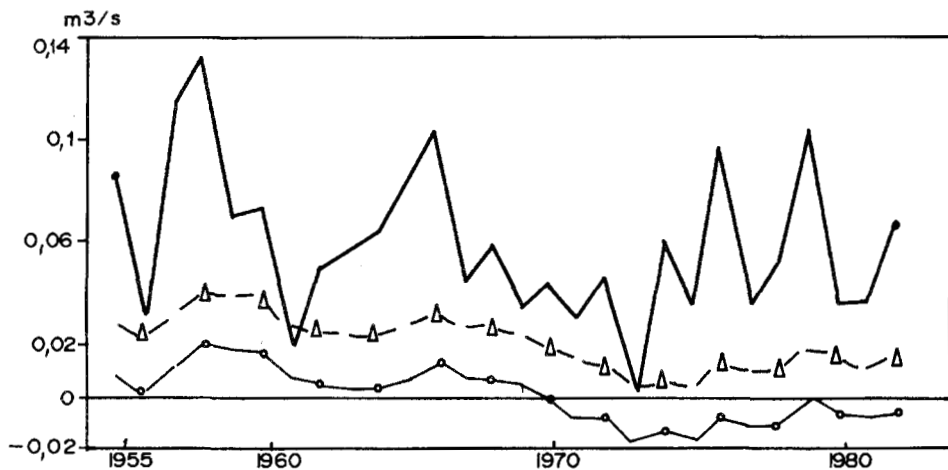
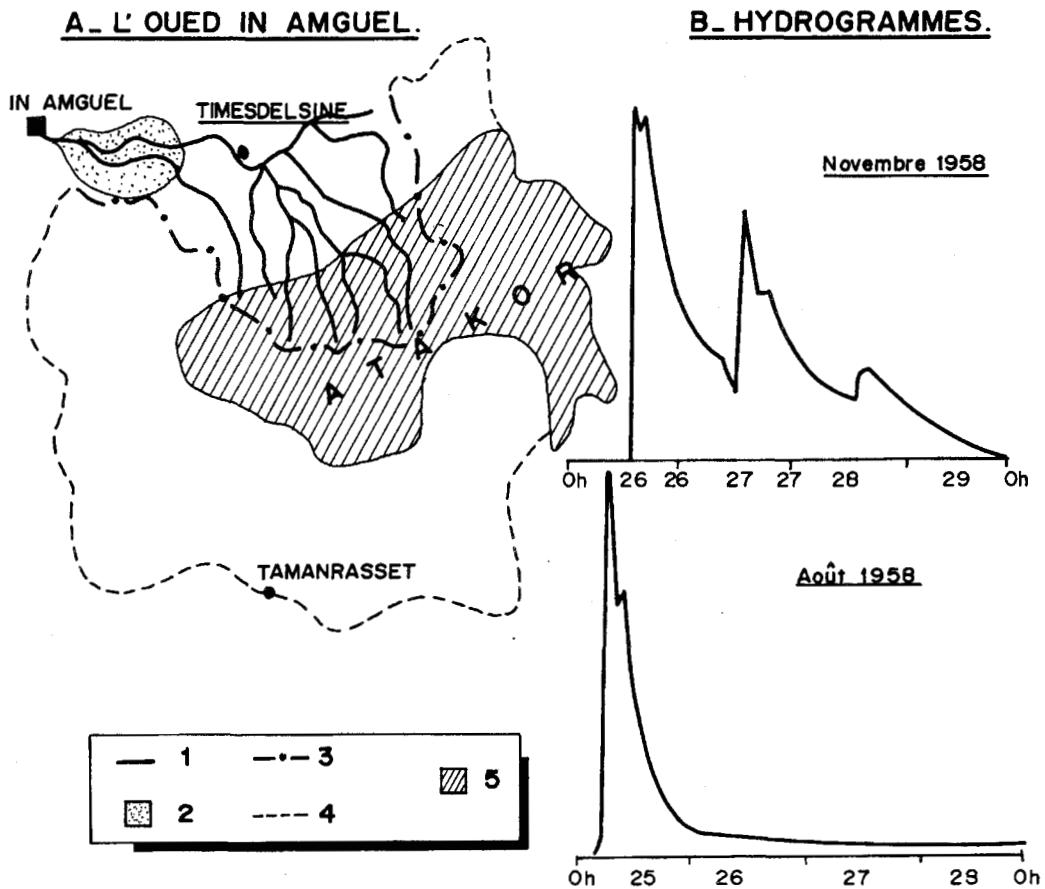
REALISE AU LABORATOIRE DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION - I.R.A. - MEDENINE - TUNISIE - 1997.



- Grand oued
- Barrage réservoir.
- Barrage de dérivation.
- Barrage de recharge de nappe.
- Périmètre irrigué.



REALISE AU LABORATOIRE DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION - I.R.A. - MEDENINE - TUNISIE - 1997



REALISE AU LABO. DE CARTO. ET DE TELED. - I.R.A. - MEDENINE - 1997

Conclusion

le recoupement des résultats obtenus par différentes méthodes d'analyse, nous permet aujourd'hui d'affirmer que les sables mis en mouvement dans la vallée du Drâ ne sont pas le résultat d'un envahissement saharien en rapport avec la remontée d'un quelconque front désertique, comme c'est le cas au Sahel ou en Mauritanie. Le sable est plutôt autochtone et provient essentiellement du remaniement des dépôts alluviaux actuels et du démantèlement de terrasses soltaniennes. Les formations quaternaires, surtout soltaniennes, peuvent être considérées comme la source principale du sable.

Les sables et limons sont d'abord extraits par l'érosion hydriques, des berges, des terrasses et des plaines alluviales. Ils sont transportés plus ou moins loin selon l'intensité des écoulements et déposés. Une fois secs, ils n'échapperont pas à la prise des vents qui sont importants dans cette région. Les transports à grande distance sont donc assurés par l'érosion hydrique, chenaux d'écoulement des eaux et ruissellement. Le vent lui, est responsable d'un transport plus court et, surtout d'une redistribution des sables à l'intérieur de la vallée. L'aggravation des ensablements constatée ces dernières années, est due certainement à la destruction de la végétation, qui elle a augmenté les ruissellements et provoqué ainsi une suralimentation en sable de la vallée. Il y'a eu remise en mouvement des sables des dunes anciennes fixées. Les populations locales le disent si bien " Il y'a eu réveil des sables endormis".

La désertification au niveau de la vallée moyenne du Drâa et les manifestations corollaires d'ensablement, trouvent leur origine au sein même de la vallée et sont donc des phénomènes localisés qui, une fois qu'ils ont débuté, tendent à se généraliser proportionnellement à la vitesse de dégradation du milieu.

Ces résultats revêtent un intérêt pratique et doivent être pris en compte dans la définition de la stratégie de lutte contre l'ensablement et la désertification au sud-est marocain.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- Benmohammadi.L, 1995 Désertification et ensablement dans la vallée moyenne du Drâa. Etude géomorphologique des formations dunaires (sud marocain). Thèse Univ Joseph Fourier, Grenoble I, 281p, 104 fig, 37 tab, 4 pl ph.
- Cailleux A. et Tricart J., 1959 Initiation à l'étude des sables et des galets, 3 vol. Paris. Centre Docum. Univers., 376 p.
- Dimanche.P, 1980 Rapport projet FAO / PNUD.
- Dresch J, 1982 Géographie des régions arides. Paris. PUF, 271 p
- Dubief J, 1952 - Le vent et le déplacement de sable au Sahara. Alger. Trav. Inst. Rech. Sahar., t. 8, p.123-164.
- Le Houerou H-N. 1987 Aperçu écologique des déserts chinois. Compte Rendu des Séances de la société de Biogéographie. 63 (2). p. 35.
- Le Ribault L. 1977 Techniques et méthodes sédimentologiques : L'exoscopie des quartz. Paris. Ed. Masson, 150 p.
- L.I.G.U.S., 1958 Laboratoire de l'Institut de géographie de l'Université de Strasbourg, Méthode améliorée pour l'étude des sables. Rev. Géomorphol. et Dyn., 3-4, p. 43-54.
- Parfenof A., Pomerol C., et Tourenq J. 1970 Les minéraux en grains. Méthodes d'étude et détermination. Paris, Ed. Masson, 600 p.
- Valentin C, 1994 Sécheresse et érosion au Sahel. Sécheresse, vol. 5, n° 3, p. 191-198.
- Viertmann W, 1994 La maîtrise des ruissellements pour la production agricole. Rapport G.T.Z. Ouarzazate, 33 p.

AMENDEMENT CALCAIRE ET ERODIBILITE EOLIENNE DES SOLS SABLEUX : ESSAIS SOUS TUNNEL A VENT

Mouldi KARDOUS -Ingénieur - Institut Des Régions
Arides - 4119 -Medénine (TUNISIE)

Mohamed Habib SNANE -Professeur - Institut National
Agronomique de Tunis (TUNISIE)

Noureddine AKRIMI -Professeur Institut Des Régions
Arides - 4119 -Medénine (TUNISIE)

RESUME

Des essais ont été effectués sous tunnel aérodynamique pour étudier l'effet de l'amendement calcaire sur la susceptibilité des sols sableux à l'érosion éolienne. Deux types de sol sableux et quatre doses de calcaire ont été utilisés. Les résultats obtenus ont montré que l'amendement calcaire favorise la formation des agrégats non mobilisables par le vent. Ces agrégats, avec une répartition uniforme et une couverture adéquate de la surface du sol, assurent une protection convenable contre l'érosion éolienne. Les fractions de couverture du sol les plus efficaces sont de l'ordre de 38 % pour les sols sableux dunaires et 25% pour les sols sableux d'érosion.

Mots clés : Erosion éolienne, Tunnel aérodynamique, Sols sableux, Amendement calcaire, rugosité de surface.

SUMMARY

In order to evaluate calcareous amendment effect on the susceptibility of the sandy soil to wind erosion. A wind tunnel, two types of sandy soil and four doses of calcareous were used. Results showed that calcareous amendment can reduce soil loss rates in all cases compared to soil losses from the flat natural sandy soil. This is explained by the production of numerous nonerodible soil aggregates that have covered soil surface. As the percentage of surface cover reach 38% of the dune sandy soil and 25% of the erosion sandy soil the quantity of soil eroded decreased.

Keywords : Wind erosion, Wind tunnel, Sandy soil, Calcareous amendment, Surface roughness.

INTRODUCTION

Des conditions physiques particulièrement sévères caractérisent les régions arides tunisiennes et prédisposent ses sols à l'érosion éolienne. Dans ces régions l'exploitation irrationnelle du milieu aggrave d'avantage le problème et menace la durabilité de tout système de développement agricole.

A coté des brise-vent largement utilisés depuis plusieurs années pour lutter contre l'érosion éolienne, de récentes recherches ont proposé d'autres techniques tels que la mise en défens des zones dégradées, la protection de la surface du sol par des résidus végétaux, le labour perpendiculairement à la direction dominante du vent...

Par ailleurs la destruction de la végétation naturelle par suite de l'extension des sols sableux mis en cultures a amplifié d'avantage le phénomène de l'érosion éolienne. Ainsi des recherches sur les techniques culturales et la stabilisation structurale de ces sols en vue de lutter contre ce phénomène s'avèrent nécessaires.

Problématique et objectifs:

Il est bien connu que la rugosité de surface reste l'un des principaux facteurs sur lequel on peut agir pour modifier la fonction transport solide éolien. Ceci est confirmé par l'équation (1) donnant la vitesse du vent en fonction de la hauteur et des caractéristiques de surface.

$$U = \frac{U_*}{K} \cdot \ln\left(\frac{Z-D}{Z_0}\right) \quad (1)$$

avec

U = vitesse moyenne horizontale du vent mesurée à la hauteur Z ;

U_{*} = vitesse d'entraînement ;

D = hauteur de déplacement du plan aérodynamique ;

Z_0 = rugosité aérodynamique de la surface du sol ;
 K = constante de Von Karman, $K = 0,4$.

La rugosité aérodynamique Z_0 (*aérodynamique roughness*) et la hauteur de déplacement D (*displacement height*) sont les deux paramètres qui caractérisent la rugosité de surface. Ils sont étroitement liés à la nature, aux caractéristiques géométriques et à l'uniformité de répartition des éléments non mobilisables qui couvrent la surface du sol. Changer ces deux paramètres pour un sol donné implique une modification du profil de la vitesse du vent et il en résulte une variation de la fonction transport solide éolien.

Par ailleurs considérant que le carbonate de calcium est un agent de stabilisation des dunes de sable durant les ères géologiques, on se propose dans le présent document d'étudier, sous tunnel à vent (*Wind tunnel*), l'effet de l'amendement calcaire sur la modification des caractéristiques physiques et donc sur l'érodibilité éolienne des sols sableux mis en culture dans les régions arides tunisiennes dans un objectif de fixation des sols agricoles sableux et dunaires.

Expérimentations et résultats:

1- Méthodologie

Les facteurs qui contrôlent l'érosion éolienne sont nombreux et complexes. Chaque facteur agit avec un paramètre ou plus. Chaque paramètre peut intervenir à plus d'un niveau. L'ensemble de ces éléments et leurs effets sur la fonction transport solide éolien se présente comme suit (figure 1) :

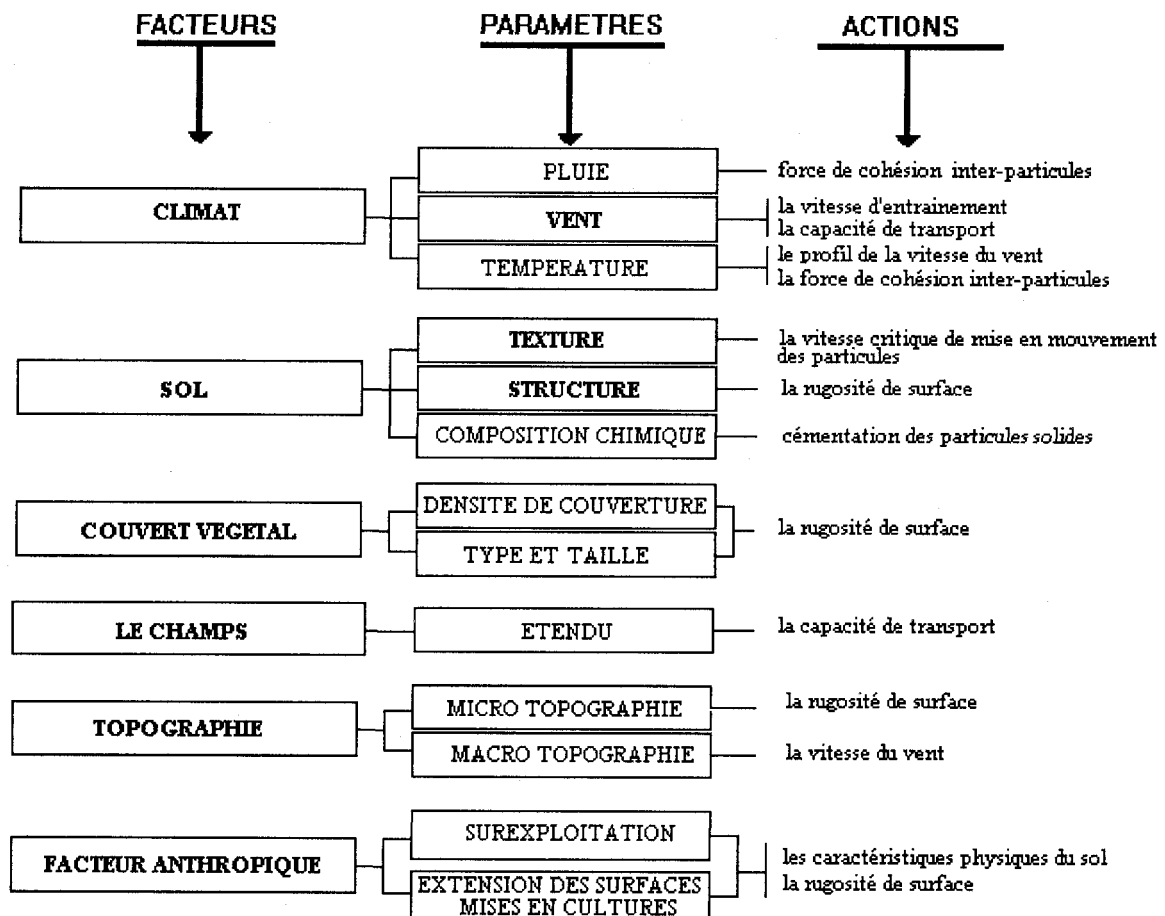


Figure 1 : Facteurs et paramètres de l'érosion éolienne et leurs effets sur l'érosion éolienne.

La réduction de l'érosion éolienne passe par la modification d'un ou de plusieurs paramètres mentionnés dans l'organigramme ci-dessus. Mais si ceci est possible pour certains paramètres il ne l'est pas pour d'autres. En fonction des possibilités justifiables techniquement et surtout économiquement pour les modifier en grandeur nature, les paramètres peuvent être scindés en paramètres modifiables et paramètres non modifiables (tableau 1).

Tableau 1 : Classification des paramètres de l'érosion éolienne selon les possibilités de modification.

Les paramètres modifiables	Les paramètres non modifiables
La densité et le type du couvert végétal	La pluie
La microtopographie	Le vent
La longueur du champ	La température
La texture du sol	La macrotopographie
La structure du sol	
Les systèmes de production	

Le tableau ci-dessus illustre le nombre important de paramètres qui interviennent dans la fonction érosion éolienne. Il serait par conséquent très difficile voire impossible d'engager un programme de recherche englobant tous ces paramètres. En effet l'interaction entre les différents paramètres serait très difficile à mettre en évidence. De ce fait et compte tenu de notre objectif principal, on a procédé à une série de simplifications visant à mettre en relief l'effet de l'amendement calcaire sur la rugosité de surface et par conséquent sur l'érosion éolienne. Le tableau ci-après regroupe les principaux paramètres retenus pour les essais.

Tableau 2 : Paramètres retenus pour les essais.

Paramètres	Variante	
Vitesse du vent	Imposée	4 m/s
		7 m/s
		10 m/s
		13 m/s
Teneur en eau	Imposée	Fixe
Couvert végétal	Imposé	Fixe
Topographie	Imposée	Fixe
Longueur du champs	Imposé	Fixe
Sol	Imposé	-Sol dunaire
		-Sol dunaire + 1 dose de calcaire
		-Sol dunaire + 2 doses de calcaire
		-Sol dunaire + 3 doses de calcaire
		-Sol d'érosion
		-Sol d'érosion + 1 dose de calcaire
		-Sol d'érosion + 2 doses de calcaire
-Sol d'érosion + 3 doses de calcaire		

Le choix des types de sols testés a été dicté par le degré de leur représentativité dans les terres mises en culture dans les zones arides. La présence d'une couche de calcaire à une faible profondeur pour la quasi-totalité des sols de ces régions a aussi pesé sur le choix du matériel d'amendement. Quant aux vitesses de vent retenues pour les essais au laboratoire, elles sont toutes supérieures à la vitesse du vent estimée, dans la littérature, suffisante pour la mise en mouvement des particules (3 à 4 m/s).

But des expérimentations

Les essais ont pour but la mesure de la perte en sol de deux types de sol sableux auxquels ont été ajoutées différentes doses de calcaire. Les deux sols essayés sont sableux, le premier dunaire donc minéral brut d'apport et le second est aussi sableux relativement plus stable, il s'agit d'un sol minéral brut d'érosion.

2 - Matériels

2.1 - Le sable dunaire

Le sable dunaire est prélevé sur une formation dunaire dans la région de Dar Dhaoui, située entre Médenine et Ben Gardane à environ 40 km de cette dernière. Il est constitué essentiellement de minéraux primaires (quartz). Plus de 90% de ses particules ont une taille comprise 0,05 et 0,2 mm. Il s'agit d'un sol très pauvre avec une faible teneur en matière organique. Ces caractéristiques physico-chimiques sont les suivantes :

Tableau n°3 : Caractéristiques physico-chimiques du sol dunaire.

Granulométrie %					Calcaire %		M.O %	pH
A	L	LG	SF	SG	Total	Actif	0,14	8,78
1,00	0,25	6,02	91,68	0,06	10,70	1,00		

2.2 - Le sable d'érosion

Les sols sableux d'érosion sont les plus rencontrés dans les régions arides surtout dans les zones mises en culture en sec et qui subissent une intervention mécanique relativement intense. Ces sols sont pauvres, peu profonds à structure diffuse parfois particulière et reposent sur un encroûtement ou une croûte bréchiqque peu profonde. (AKRIMI, N., KARDOUS, M., TAMALLAH, H. 1993). Ils sont sensibles à l'érosion éolienne et présentent les caractéristiques physico-chimiques suivantes.

Tableau n°4 : Caractéristiques physico-chimiques du sol sableux d'érosion.

Granulométrie %					Calcaire %		M.O %	pH
A	L	LG	SF	SG	Total	Actif	0,58	8,50
0,88	0,00	7,63	83,76	7,49	14,30	2,00		

2.3 - Le calcaire

Les régions arides sont généralement caractérisées par la présence d'une couche de calcaire accumulée juste en dessous de la couche arable qui émerge parfois en surface soit suite à un travail relativement profond du sol ou après érosion de la couche située au-dessus.

Prélevé d'une formation située aussi à Dar Dhaoui à 15 cm de profondeur, il est essentiellement friable et présente une forte teneur en calcaire totale et environ 14% de calcaire actif. Le tableau ci-après résume ses principales caractéristiques physico-chimiques.

Tableau n°5 : Caractéristiques physico-chimiques du matériel d'amendement.

Granulométrie %					Calcaire %		M.O %	pH
A	L	LG	SF	SG	Total	Actif	0,91	8,23
4,25	9,63	29,09	48,27	8,07	64,30	14,50		

2.4- Le tunnel à vent et les accessoires de mesure

Le tunnel à vent utilisé est rectiligne et animé par un moteur thermique. Il est constitué d'un ventilateur, d'un convergent et du tunnel proprement dit. Le tunnel est muni de quelques accessoires pour la mesure de la vitesse du vent (tube pitot) et pour le piégeage du sable (piège à sable). Ces caractéristiques techniques sont les suivantes :

<u>Encombrement</u>	
* Longueur hors tout	9.90 m
* Largeur hors tout	2.30 m
* Hauteur hors tout	1.50 m
<u>Le moteur</u>	
* Marque:	Deutz
* Numéro de série	1681
* Energie	gasoil
* Nombre de cylindres	2
<u>Le ventilateur</u>	
* Diamètre de la roue	90 cm
* Nombre de pales	6 fixes
* Sens de rotation	Contraire au sens de rotation des aiguilles d'une montre (par vue de face)
* Entraînement	Par courroie
<u>Le tunnel</u>	
* Longueur totale	7.26 m
* Section	60*80 cm ²
* Largeur	60 cm
* Hauteur	80 cm
* Nombre de compartiments	6
* Longueur d'un compartiment	121 cm
<u>Le Convergent</u>	
* Emplacement	Le Convergent est monté à l'amont du tunnel proprement dit

▪ *Le régime de l'écoulement de l'air dans le tunnel à vent*

Le passage du régime laminaire au régime turbulent de l'écoulement de l'air se produit lorsque le nombre de Reynolds est supérieur à 1400 (Bagnold, 1941).

$$R = \frac{U \cdot L}{\nu_{air}} \quad (2)$$

avec R = Nombre de Reynolds, L = Diamètre ou côté de la conduite, ν_{air} = Viscosité cinématique de l'air = 0,14 Stokes.

Dans notre cas, ce passage se produit pour une vitesse du vent égale à 0,0292 m/s. Compte tenu des valeurs des vitesses retenues pour les essais, on est dans le cas du régime turbulent qui se traduit par des mouvements désordonnés des molécules de l'air animées avec des vitesses constamment variables dans toutes les directions (Carlier, 1977). Le profil de la vitesse du vent résultant est logarithmique à l'intérieur de la couche limite et il est conforme à l'équation (1).

3- Préparation des échantillons

- Préparation du mélange

Pour préparer le mélange on est passé par les étapes suivantes :

- a/ Tamisage du calcaire à 2 mm ;
- b/ Séchage à l'air libre sous abri des échantillons de sol à tester ;
- c/ Mélange du matériel d'amendement calcaire au sol jusqu'à obtention du produit le plus homogène possible ;
- d/ Humectation du mélange avec une quantité d'eau équivalente à 15% de la masse totale du solide ;
- e/ Agitation le mélange pour homogénéiser l'humidité et favoriser l'action du calcaire sur les particules de sable ;
- f/ Séchage des échantillons à l'air libre, sous abri.

Trois doses du matériau d'amendement calcaire ont été appliquées :

- * 40 kg de calcaire pour 1000 kg de sable ;
- * 80 kg de calcaire pour 1000 kg de sable ;

* 120 kg de calcaire pour 1000 kg de sable.

4- Déroulement des essais

Dans un souci d'obtenir une comparaison significative entre les différents traitements, on a essayé de mettre les échantillons testés dans des conditions identiques d'essai. Si ceci a été possible pour les différentes phases de préparation des échantillons (mélange, séchage, retournement...). Il n'en est pas ainsi pour l'obtention de la même rugosité initiale de surface. Pour surmonter cette difficulté on a opté pour un nivellement artificiel des échantillons en vue d'avoir la surface la plus lisse possible. Les échantillons ainsi obtenus se présentent sous forme d'une couche plane de 8 cm de hauteur, 60 cm de largeur et 80 cm de longueur. Placé à deux mètres du piège à sable, chaque échantillon a été ensuite exposé à un vent de vitesse déterminée au préalable. La vitesse du vent est mesurée au centre de la section du tunnel, soit à une hauteur de 32 cm par rapport à la surface de l'échantillon.

Quatre vitesses ont été testées : 4 m/s ; 7 m/s ; 10 m/s et 13 m/s. Chaque essai, de durée 15 mn, a été répété quatre fois. Cette durée est jugée suffisante pour avoir des résultats corrects. En effet 5 à 20 minutes correspondent au temps généralement utilisé dans les essais sous tunnel (Sayed et Shah, 1962 ; Uil'yams, 1963).

A la fin de l'essai les particules solides transportées par le vent, et piégées, sont récupérées dans des sacs en plastique et pesées avec une balance électronique de précision (1/10000 grammes près).

5- Résultats et discussions

Pour mettre en relief l'effet de l'amendement calcaire sur l'érodibilité éolienne des sols testés, on a dans une première étape, procédé à une analyse globale des résultats dans un but d'identifier la relation entre perte en sol et la dose du matériau d'amendement calcaire appliquée. En seconde étape on s'est intéressé à la caractérisation de l'état de surface des échantillons après essais.

5.1- Perte en sol

La perte en sol constitue la principale observation dans nos essais. La durée de chaque essai est de 15 minutes. Elle est largement suffisante pour mobiliser la fraction érodable se trouvant à la surface du sol testé. En effet on a constaté que le mouvement effectif du sol n'a duré que quelques minutes variables selon les échantillons et la vitesse du vent mais toujours inférieures à 15 minutes. Seul le sol dunaire témoin, essayé à la vitesse du vent 13 m/s, a fait l'exception. Pour ce dernier, 5 minutes ont suffi pour que le vent transporte tout le sol. Les échantillons de sol déplacé par le vent représentent de ce fait un maximum transportable. A la fin de chaque essai le sol transporté par le vent et piégé, est pesé avec une balance de précision allant jusqu'à 10^{-4} grammes près. La masse m ainsi obtenue est relative à la largeur du piège à sable (1 cm) et à la surface horizontale de l'échantillon exposé au vent (4800 cm²).

Les pertes en sol obtenues figurent dans le tableau 6 pour le sol dunaire et le tableau 7 pour le sol d'érosion.

Tableau 6 : Perte en sol dunaire.

	4 m/s		7 m / s		10 m /s		13 m / s	
	M (t/h)	H(mm)	M(t / h)	H(mm)	M(t / h)	H(mm)	M(t / h)	H(mm)
Témoin	1,043	0,070	49,482	3,299	169,755	11,317	1087,255	72,484
Tem. + 1D	0,227	0,015	3,401	0,227	37,318	2,488	70,029	4,669
Tem. + 2D	0,107	0,007	1,589	0,106	19,295	1,286	35,991	2,399
Tem. + 3D	0,011	0,001	1,280	0,085	4,146	0,276	9,417	0,628

M(t/h) = Masse en tonnes par hectare ; H(mm) = Hauteur en mm. Tem = Témoin D = Dose

Tableau 7 : Perte en sol d'érosion.

	4 m/s		7 m / s		10 m / s		13 m / s	
	M (t/h)	H(mm)	M(t / h)	H(mm)	M(t / h)	H(mm)	M(t / h)	H(mm)
Témoin	0,013	0,0009	0,144	0,0096	5,393	0,3596	6,352	0,4235
Tem. + 1D	0,011	0,0007	0,177	0,0118	2,795	0,1863	5,221	0,3481
Tem. + 2D	0,007	0,0005	0,138	0,0092	2,479	0,1653	2,956	0,1971
Tem. + 3D	0,008	0,0005	0,060	0,0040	1,185	0,0790	3,581	0,2387

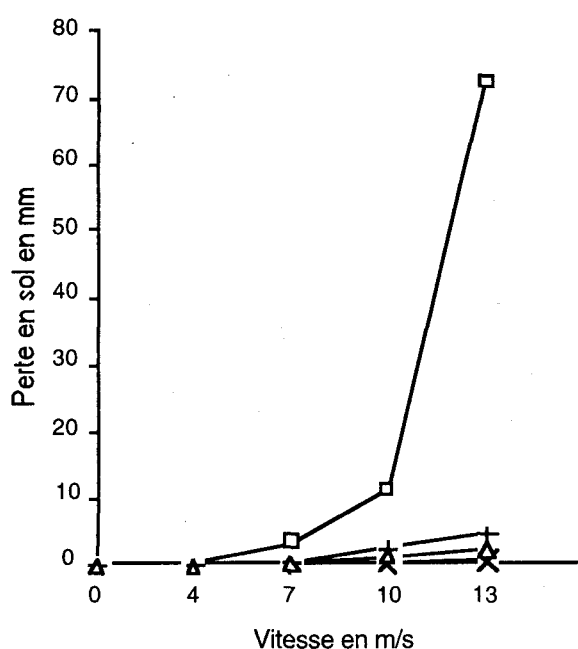
M(t/h) = Masse en tonne par hectare ; H(mm) = Hauteur en mm. Tem = Témoin D = Dose

5.2- Variation de la perte en sol en fonction de la vitesse du vent et de la dose du matériau d'amendement calcaire.

Compte tenu des résultats obtenus, on souligne d'abord l'accroissement des pertes en sol avec la vitesse du vent pour tous les échantillons avec ou sans amendement calcaire (figure 2 et 3). En effet plus la vitesse est forte, plus les forces aérodynamiques appliquées à la particule seront élevées, bien que sa résistance au mouvement reste constante. Les résultats obtenus illustrent aussi l'importante réduction des pertes en sol enregistrées pour tous les échantillons amendés avec du calcaire quelle que soit la dose appliquée.

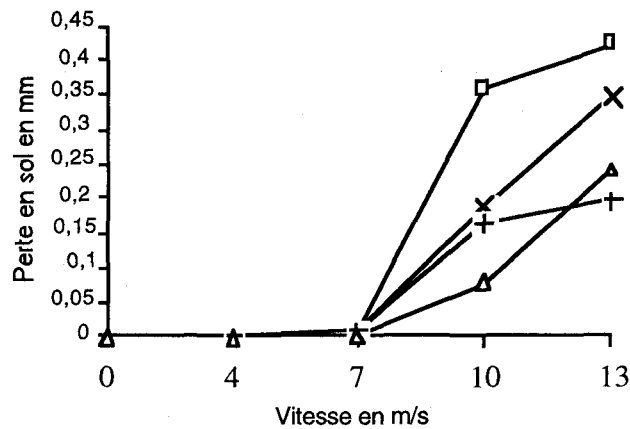
Comparée au traitement témoin cette réduction a pu atteindre des valeurs très élevées selon la dose de calcaire pour le sol dunaire et uniquement 2 à 3 fois pour le sol sableux peu évolué d'érosion. Le maximum de transport solide a été enregistré pour la vitesse du vent 13 m/s. La différence du point de vue pertes en sol, entre le sol dunaire et le sol d'érosion, est très élevée et est allouée à l'inégalité du pourcentage des particules grossières et du taux de calcaire initial de ces deux sols. En effet le sol dunaire est strictement meuble alors que le sol d'érosion renferme des agrégats plus au moins grands, quoique fragiles.

Pour les deux sols testés, la perte en sol enregistrée est inversement proportionnelle à la dose du matériau d'amendement appliquée. L'écart maximal, entre les pertes en sol relatives aux trois doses, change avec la vitesse du vent. Il varie entre 3 et 15 pour le sol dunaire et entre 1,3 et 3 pour le sol d'érosion.



Témoin + 1 Dose Δ 2 Doses x 3 Doses

Figure 2 : Variation de la perte en sol en fonction de la vitesse du vent et de la dose de calcaire appliquée (cas du sol dunaire).



Témoin + 1 Dose Δ 2 Doses x 3 Doses

Figure 3 : Variation de la perte en sol en fonction de la vitesse du vent et de la dose de calcaire appliquée (cas du sol d'érosion).

5.3- Analyse statistique des données

L'analyse de la variance est la méthode statistique qu'on a utilisée pour comparer les résultats obtenus. On a effectué dans une première étape une analyse globale des résultats pour les deux types de sols testés. En deuxième étape, on a refait la même analyse séparément pour chaque type de sol.

Analyse globale des résultats des deux types de sol

Le premier objectif de cette analyse est de voir si les deux types de sols testés (sol sableux dunaire et sol sableux d'érosion) se comportent de la même manière par rapport au phénomène du transport solide éolien (perte en sol).

Tous les facteurs engagés dans les essais ont été testés à savoir : le sol, la vitesse du vent et la dose de calcaire appliquée. En tant que facteur qualitatif le sol présente deux variantes (le sol sableux dunaire et le sol sableux d'érosion). Les deux autres facteurs (la vitesse du vent et la dose de calcaire) sont quantitatifs et présentent chacun quatre niveaux. Ceci nous a permis d'envisager la vérification de l'hypothèse de linéarité entre ces trois facteurs et le résultat de l'expérience à savoir la perte en sol. Les expériences réalisées sont factorielles : chacun des niveaux du facteur sol est associé à chacun des niveaux des facteurs dose et vitesse. Le nombre total des objets ainsi obtenu est égal à : 32 (avec quatre répétitions par traitement).

Les résultats de l'analyse statistique (tableau 8) montrent qu'il existe une différence très hautement significative entre les variantes et niveaux de tous les facteurs essayés ainsi que de leurs interactions au niveau de probabilité 1‰. Compte tenu de notre premier objectif les deux types de sol testés se comportent d'une façon très significativement différente vis-à-vis de l'érosion éolienne. Aussi allons-nous pousser l'analyse séparément pour chaque type de sol.

Analyse des résultats relatifs à chaque type de sol

Pour chaque type de sol on a entrepris une analyse de la variance à deux critères de classification : dose et vitesse. Ces critères sont fixes (non aléatoires) et de ce fait le carré moyen résiduel sert de base de comparaison commune. L'analyse de la variance (tableau 9 et 10) montrent que les facteurs mentionnés ci-dessus et leurs interactions induisent des différences très hautement significatives au niveau de probabilité 1‰. Le résultat qui concerne la variation des pertes en sol en fonction de la vitesse du vent est évident et attendu. Celui relatif à la variation de la perte en sol en fonction de la dose du calcaire appliquée confirme l'effet bénéfique de l'amendement calcaire sur la modification des caractéristiques physiques du sol et par conséquent sur l'érosion éolienne.

Tableau 8 : Analyse de la variance relative à tous les facteurs engagés dans les essais.

Sources de variation	Degrés de liberté	Sommes des carrés des écarts	Carrés moyens	F	Pr > F
Sol	1	43215,15	43215,15	1110,16	0,0001
Dose	3	68226,24	22742,08	584,22	0,0001
Sol * Dose	3	65435,92	21811,97	560,33	0,0001
Vitesse	3	47831,35	15943,78	409,58	0,0001
Sol * Vitesse	3	40696,76	13565,59	348,49	0,0001
Dose * Vitesse	9	61596,05	6844,01	175,82	0,0001
Sol *Dose * Vitesse	9	59637,89	6626,43	170,23	0,0001

Tableau 9 : Analyse de la variance relative au sol sableux dunaire.

Source	Degrés de liberté	Sommes des carrés des écarts	Carrés moyens	F	Pr > F
Dose	3	133646,20	44548,73	573,86	0,0001
Vitesse	3	88377,18	29459,06	379,48	0,0001
Dose*Vitesse	9	121207,61	13467,51	173,48	0,0001

Tableau 10 : Analyse de la variance relative au sol sableux d'érosion.

Source	Degrés de liberté	Sommes des carrés des écarts	Carrés moyens	F	Pr > F
Dose	3	15,95	5,32	23,71	0,0001
Vitesse	3	150,93	50,31	224,40	0,0001
Dose*Vitesse	9	26,33	2,93	13,05	0,0001

La comparaison multiple des moyennes a révélé, pour le sol sableux dunaire, 4 classes différentes de vitesse du vent, soit une classe par vitesse. l'ordre croissant des vitesses a été respecté. Quatre classes de doses ont été également obtenues pour le même sol. La deuxième dose (40 kg de calcaire/tonne de sable) a enregistré la plus faible moyenne (tableau 11). Dans le cas du sol sableux d'érosion, la comparaison multiple des moyennes a fait apparaître 3 classes de vitesse et 2 classes de dose. La vitesse 13 m/s s'est distinguée par rapport aux 3 autres vitesses (4 ; 7, et 10 m/s), par une moyenne de perte en sol plus élevée. Par ailleurs les 3 doses de calcaire utilisées pour l'amendement de ce sol se sont regroupées dans une même classe (tableau 12).

Tableau 11 : Comparaison multiple des moyennes (cas du sol dunaire).

Classe	Moyenne	Dose	Classe	Moyenne	Vitesse
A	116,54	1	A	95,57	4
B	22,20	3	B	46,10	3
C	11,39	4	C	11,15	2
D	2,97	2	D	0,28	1

Tableau 12 : Comparaison multiple des moyennes (cas du sol d'érosion).

Classe	Moyenne	Dose	Classe	Moyenne	Vitesse
A	2,38	1	A	3,62	4
B	1,31	2	B	2,37	3
B	1,20	4	C	0,10	2
B	1,12	3	C	0,01	1

5.4- Détermination des caractéristiques de surface

Le sol, exposé à un vent de vitesse donnée, est caractérisé par l'ensemble des éléments qui se trouvent à sa surface et qui ne sont pas mobilisables à cette vitesse. Ces éléments interviennent par leur nombre, leur nature, leur forme et leurs dimensions. Leur efficacité est également liée au degré de leur uniformité de répartition. La fraction de couverture du sol joue ainsi un rôle très important dans la protection des éléments les plus vulnérables à l'érosion éolienne. L'estimation de cette fraction de couverture a été réalisée moyennant un comptage et une caractérisation géométrique des éléments mentionnés ci-dessus et qui ont pu résister à un vent de 13 m/s mesuré à 32 cm par rapport à la surface du sol soit environ 57 km/h au niveau 2m. Les mêmes données ont par ailleurs servi, en adoptant l'équation de Wossenu *et al* et la méthode adoptée par Gregory *et al* pour le calcul des caractéristiques aérodynamiques de surface D et Z₀.

5.4.1- Exemple de calcul (cas du sol sableux dunaire)

5.4.1.1- Détermination des caractéristiques initiales de la surface du sol avant essai

- Calcul de D et Z₀

Avant essai, la surface du sol est rendue artificiellement lisse pour avoir les mêmes conditions initiales pour tous les échantillons. Dans ces conditions (surface nue et lisse) la hauteur de rugosité Hs est comprise entre 0 et 0,5 cm (Gregory *et al.*, 1989). Dans notre cas on a pris une valeur intermédiaire de Hs égale à 0,2 cm. Les valeurs de D et Z₀ sont calculées par les expressions suivantes :

$$D = 0,5 \cdot Hs = 0.1 \text{ cm} \tag{3}$$

$$Z_0 = 0,13 \cdot (H - D) = 0,013 \text{ cm} \tag{4}$$

- Calcul de la vitesse d'entraînement

Une fois D et Z₀ déterminées et connaissant la vitesse du vent à la hauteur Z. U. peut être déduite moyennant l'expression (1). Ses valeurs qui croient en fonction de la vitesse du vent figurent dans le tableau suivant :

Tableau 13 : la vitesse d'entraînement en fonction de U.

U (m/s)	Z en cm	U* en m/s
4	32	0,20
7	32	0,36
10	32	0,51
13	32	0,67

- Détermination des profils des vitesses du vent adoptées aux essais

Le profil de la vitesse du vent nous permet d'avoir une idée sur la valeur que prend la vitesse du vent à une hauteur donnée. Dans notre cas, on s'est limité à 2 m, hauteur à laquelle est généralement mesurée le vent dans les stations météorologiques. Les vitesses 4 ; 7 ; 10 et 13 m/s mesurées à une hauteur de 32 cm par rapport à la surface du sol sous tunnel aérodynamique correspondent respectivement à 4,96 ; 8,65 ; 12,35 et 16,06 m/s au niveau 2 mètres pour les mêmes conditions de surface. La représentation des 4 profils du vent de nos essais déterminés par l'équation aérodynamique (1) est donnée par la figure ci-après.

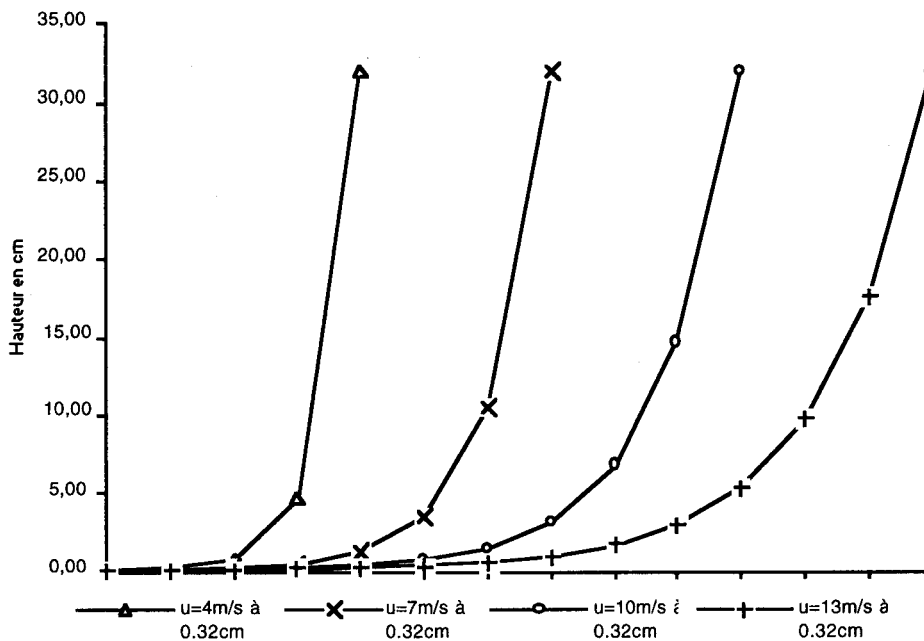


Figure 4 : Profils des vitesses du vent retenues pour les essais.

5.4.1.2- Détermination des caractéristiques de surface pour les nouvelles conditions de couverture du sol (après essai).

Au fur et à mesure que le vent transporte les particules libres du sol, la morphologie de ce dernier change. Les agrégats initialement enfouis dans le sol commencent à prendre place à sa surface donnant naissance à une nouvelle rugosité. Lorsque la surface du sol couverte par ces agrégats atteint un certain niveau, variable avec la vitesse du vent, le transport solide cesse complètement. La meilleure couverture a été obtenue avec un vent de vitesse 13 m/s d'où la détermination des caractéristiques de surface du sol qui offrent la meilleure stabilité pour cette vitesse et par conséquent pour les vitesses inférieures et même pour des vitesses légèrement supérieures à 13 m/s (expérience réalisée et non notifiée). Pour cette dernière raison, on s'est limité aux échantillons ayant subi cette vitesse pour la caractérisation de la rugosité de surface.

En ce qui concerne la méthode de calcul, elle est la même pour tous les échantillons et pour les deux types de sol testés. On va expliciter cette méthode pour le cas du sol dunaire amendé avec une dose de calcaire. Les résultats relatifs aux autres essais seront présentés dans les tableaux 16 et 17.

- Détermination de la fraction de couverture du sol (Fc) (tableau 14)

Le calcul de la fraction de couverture du sol par des éléments non mobilisables est passée au début par la caractérisation des agrégats (forme et dimensions) et puis par un comptage de ces éléments moyennant un maillage carré. Pour chaque échantillon on a dressé cinq carrés de 10 cm de côté pour le comptage des gros agrégats et cinq autres carrés de 2 cm de côté pour quantifier les agrégats de tailles plus petites.

Tableau 14 : Calcul de la surface couverte par des éléments non érodables.

Forme des agrégats	Dim. en mm	S en cm ²	N	Fc en %
Sphérique	D = 2	0,0314	1070	33,60
parallélépipédique	L = 4 ; l = 3	0,12	11,8	1,41
parallélépipédique	L = 8 ; l = 6	0,48	6	2,88
Total				37,89

Dim. = Dimensions moyennes par vue de dessus en mm
 S = Surface en cm²
 Fc = Surface couverte du sol en %

L = longueur l = largeur
 N = Nombre moyen par 100 cm²

- Calcul de la hauteur de déplacement du plan aérodynamique D

Hauteur maximale relative de la rugosité de surface (H_m) (tableau 15)

C'est la hauteur maximale des agrégats pondérée par leurs effectifs respectifs. Elle a pour expression :

$$H_m = \sum(H_{m_i} \cdot n_i) / N \tag{5}$$

où

H_m = La hauteur maximale relative de la rugosité de surface ;

H_{m_i} = La hauteur maximale de l'agrégat i ;

n_i = L'effectif de l'agrégat i ;

N = L'effectif total.

Tableau 15 : Hauteur maximale relative des agrégats.

Forme des agrégats	n_i	H_{m_i}	H_m
Sphérique	1070	0,20 cm	
parallélépipédique	11,8	0,40 cm	
parallélépipédique	6	0,50 cm	
N	1087,8		0,204 cm

Hauteur moyenne de couverture (H_c)

Elle est fonction de la hauteur maximale, de la forme et de la disposition des obstacles de la surface du sol (agrégats, pierres, végétations...). H_c représente une fraction de la hauteur maximale. Les coefficients de forme ont été déterminés par Wossenu et al en 1989. La hauteur moyenne de couverture est la somme des hauteurs de couverture des agrégats pondérées par leurs effectifs. Son expression est la suivante :

$$H_c = \sum(\alpha_i \cdot H_{m_i} \cdot n_i) / N = 0,153 \text{ cm} \tag{6}$$

α_i désigne le coefficient de forme de l'agrégat i . Dans notre cas sa valeur est 0,75 pour les agrégats sphériques et 0,7 pour ceux parallélépipédiques.

Calcul de la hauteur de déplacement du plan aérodynamique de référence D

L'importance de la hauteur de déplacement du plan de référence D dans la détermination du profil de la vitesse et donc du transport solide éolien a été décrite au début du présent document. La méthode la plus sûre dans sa détermination reste l'interpolation graphique à partir de la courbe de variation de la vitesse du vent à plusieurs hauteurs. Cette méthode nécessite des moyens sophistiqués pour la mesure de la vitesse du vent. Toutefois l'expression empirique suivante nous permet d'obtenir des valeurs approchées.

$$D = (H_c - 0,5 \cdot H_s) \cdot F_c + H_s = 0,219 \text{ cm} \tag{7}$$

Calcul du niveau du plan aérodynamique Z_0

La formule permettant de donner Z_0 engage, à côté des caractéristiques de l'état de surface mentionnées ci-dessus, la largeur moyenne et l'espacement moyen entre les éléments constituant la rugosité de surface. Par ailleurs il faut souligner que tout ce qui a été dit sur la détermination de D par la méthode graphique reste valable également pour Z_0 .

Calcul de la largeur moyenne des éléments de rugosité

La largeur moyenne des éléments sphériques équivaut à leur diamètre, dans notre cas 2 mm. Pour les agrégats parallélépipédiques, deux dispositions peuvent avoir lieu : Les éléments font face au vent soit par leur largeur, soit par leur longueur. Pratiquement on a pris pour largeur moyenne la moyenne de la longueur et de la largeur de ces agrégats. Dans le calcul de la largeur moyenne générale nous avons tenu compte de l'effectif des agrégats à l'instar de ce qui a été fait pour la hauteur moyenne.

$$l_m = \sum(l_{m_i} \cdot n_i) / N = 0,204 \text{ cm} \tag{8}$$

Calcul de l'espacement moyen entre les agrégats (E_m)

L'espacement moyen entre les agrégats est la distance qui sépare l'entraxe des deux agrégats adjacents. Son calcul suppose que ces éléments sont uniformément repartis et de dimensions égales. Son expression se présente comme suit :

$$E_m = (l_m^2 / F_c)^{1/2} = 0,33 \text{ cm} \quad (9)$$

Calcul du coefficient β

Le coefficient β entre dans le calcul de facteur correctif de Z_0 . Il est calculé par la formule ci-après :

$$\beta = \frac{L_{\text{moy}} \cdot H_{\text{moy}}}{E_{\text{moy}}^2} = 0,378 \quad (10)$$

Calcul du nouveau plan aérodynamique Z_0

$$Z_0 = 0,13 \cdot (H_{\text{max}} - D) \cdot \left(1 - e^{-94 \cdot \beta^2}\right) = 0,024 \text{ cm} \quad (11)$$

Plus de 90 % du sol témoin est constitué de grains de tailles inférieures à 0,2 mm. Ces particules sont situées au-dessous du niveau Z_0 obtenu après amendement calcaire ce qui les met à l'abri de l'effet du vent dont le profil s'annule au niveau Z_0 .

Profil initial et final de la vitesse du vent

La comparaison entre le profil initial et final de la vitesse du vent vise à mettre en relief les modifications, de la rugosité de surface des sols testés, dues à l'amendement calcaire. En effet et d'après la figure 5 ci-dessous, il est facile de constater la translation, suivant la hauteur de la courbe initiale de la vitesse du vent. Il en résulte, pour la même hauteur, une vitesse du vent de valeur inférieure. La différence entre les deux vitesses est plus importante pour les niveaux près de la surface du sol, ceci explique que les obstacles de faibles tailles, avec une couverture adéquate du sol et une répartition uniforme sont aussi efficaces que les grands obstacles ayant les mêmes configurations (couverture et uniformité de répartition). Ainsi il suffit de favoriser la formation d'un grand nombre de petits agrégats pour obtenir une protection efficace contre l'érosion éolienne.

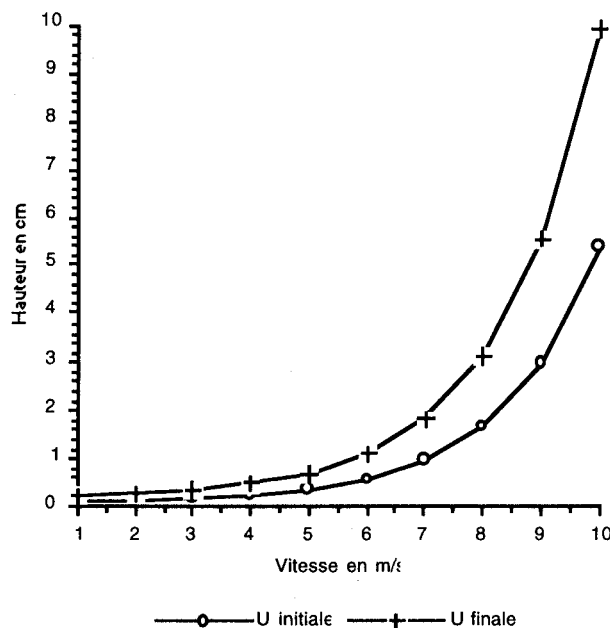


Figure 5 : Comparaison entre vitesse initiale et finale de la vitesse du vent au voisinage du sol.

5.4.2.1- Résultats

Tableau 16: Résultats relatifs au sol sableux dunaire.

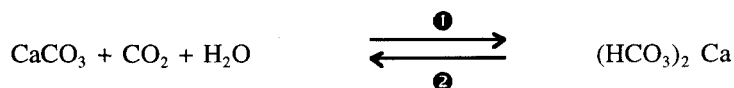
Sol dunaire	Fc en %	D en mm	Z ₀ en mm
Témoin	0	0,1	0,13
Témoin + 1 Dose	37,6	2,2	0,24
Témoin + 2 Doses	37,9	2,2	0,24
Témoin + 3 Doses	39,7	2,2	0,23

Tableau 17: Résultats relatifs au sol sableux d'érosion.

Sol d'érosion	Fc en %	D en mm	Z ₀ en mm
Témoin	24,38	0,22	0,26
Témoin + 1 Dose	29,57	0,22	0,28
Témoin + 2 Doses	24,66	0,22	0,28
Témoin + 3 Doses	25,94	0,22	0,26

5.5- Effet de l'amendement calcaire sur la formation des agrégats

En présence de l'eau chargée en gaz carbonique utilisée lors de l'amendement, le calcaire se dissout pour produire du bicarbonate de calcium. Ce phénomène s'effectue selon la réaction chimique suivante :



Cette réaction chimique est intensifiée par la présence des particules de calcaire de taille très fine (de l'ordre de quelques microns). En effet ces dernières présentent une surface spécifique très importante qui leur permet d'augmenter la surface de contact avec l'eau chargée en gaz carbonique. La quantité de bicarbonate soluble produite est proportionnelle à la quantité de calcaire, CO₂ et la durée d'humectation.

Lors de la période de dessèchement, la réaction s'inverse. Le gaz carbonique s'évapore et le bicarbonate de calcium précipite sous forme de CaCO₃. Le nouveau CaCO₃ précipité va se présenter sous forme de dépôts aciculaires et micritiques. Les micrites qui sont des cristaux de calcite dont la taille est comprise entre 1 et 4 µm vont jouer le rôle de ciment minéral pour les particules de sable. La quantité de particules de sable piégées et par suite le nombre et la taille des agrégats produits dépend de la quantité de bicarbonate précipité.

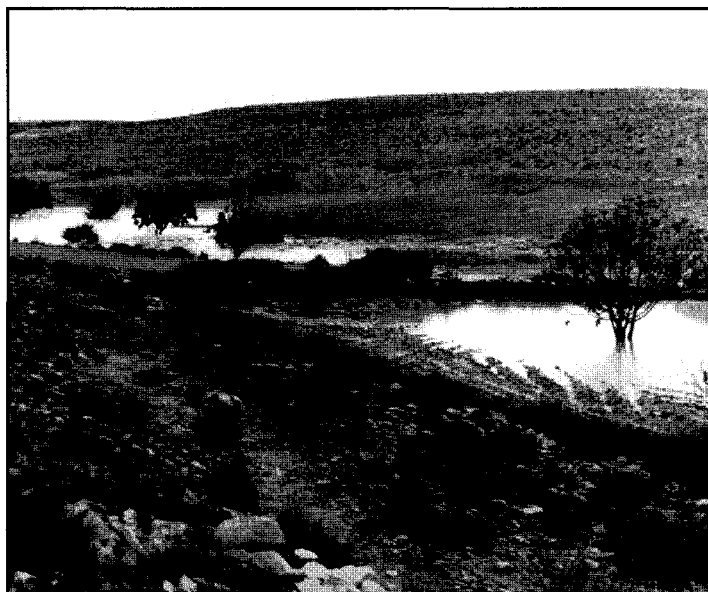
Conclusion:

Au terme des essais effectués sous tunnel à vent sur l'utilisation de l'amendement calcaire en tant que moyen de lutte mécanique contre l'érosion éolienne des sols sableux les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

- Les pertes en sol augmentent avec la vitesse du vent.
- L'amendement calcaire réduit l'érosion éolienne : la dose 120 kg de matériau d'amendement calcaire par tonne de sable a fourni les meilleurs résultats. Suivant la vitesse du vent, la réduction des pertes en sol varie de 40 à 100 fois pour le sol sableux dunaire et 2 à 3 fois pour le sol sableux d'érosion.
- L'amendement calcaire favorise la formation des agrégats non mobilisables par le vent. Ces agrégats, avec une répartition uniforme et une couverture adéquate de la surface du sol, assurent une protection convenable contre l'érosion éolienne. Les fractions de couverture du sol les plus efficaces sont de l'ordre de 38 % pour les sols sableux dunaires et 25 % pour les sols sableux d'érosion.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- Akrimi, N., Kardous, M., Tamallah, H., 1993 : Mouvement de sables en relation avec la nature et la vitesse de certain outils de travail du sol en zones arides. (Étude d'un cas pratique), Revue des Régions Arides n°5/1993, 35-37
- Bagnold, R.A. 1941 : The physics of blown sand and desert Dunes, Methuen, London, 265 p.
- Bagnold, R.A., 1953 : Forme de dunes de sable et régimes des vents. Colloques internationaux du C.N.R.S, Alger. pp. 23-32.
- Carlier, M. 1972 : Hydraulique Générale et appliquée, Collection du Centre de Recherche et d'Essai de Chatou Eyrolles, Paris
- Chepil, W.S., Woodruff, N.P., 1963 : The Physics of wind erosion and its control, United States Departement of agriculture, Manhatton, Kansas
- Dolgilevich, M.I., Vasil'ov, Yu.I., 1973 : Wind tunnel for simulating the wind erosion of soils, A-Union Scientific Research Institute of Agricultural and Forest Development.
- Goossens, D., 1992 : Eolian processes and eolian landforms. Laboratory for experimental geomorphology, Leuven, Belgium, 168 p.
- Sayed, R., Shah, H., 1962 : Studies on wind protection. Bio. fields Netherland, 60 p
- Uil'yams, G., 1963 : Problem of the effect of éolian sand transport at various heights on the particule size composition of the sand. Dokl. Akad. nauk SSSR, 149
- Williams, G. P., 1964 : Some aspects of the eolian saltation load. Sedimentology, 3 pp 257-287
- Wossenu, A., Gregory, J. M., Borelli, J., 1989 : Wind profile : Estimation of displacement height and aerodynamic roughness. ASAE, Vol.32, n° 2 pp. 521-527.
- Zingg, A.W., 1953 : Wind-tunnel studies of the movment of sedimentary material, fifth hydraulics conference, bulltin 34. State university of Iowa studies in engineering, pp. 111-135



SESSION 2 :

EAUX ET SOLS

- Les acquis de recherche dans le domaine de la conservation optimale des eaux de ruissellement dans les régions arides du centre et sud tunisien (*B. Chehbani*)..... 77
- Les pluies érosives en Tunisie centrale : Analyse et modélisation dynamique (*Y. Zahar*) 93
- Impact des techniques anti-érosives sur le transport solide, la fertilité du sol et la production agricole dans les régions du semi-aride tunisien (*M. Kaabia*) 105
- Impact du drainage et des précipitations sur la salure d'un sol oasien (*R. Boukhchina, A. Seaid*) 115
- Contribution à l'évaluation des composantes du bilan hydrique dans un système oasien: Cas de l'oasis El Kasba-Gafsa (*M.S. Slimani, M. Mechergui*) 121
- Etude des risques de salinisation des sols à long terme par endoréisation anthropique pour une approche systémique (*A. M'hiri, J.Tarhouni, M. Hachicha, F. Lebdi*) 129
- Valorisation des margines dans la stabilisation des sols (*H. Mellouli, R. Hartmann*) 139
- Etude de l'effet de la posidonie (*Posidinia oceanica*) sur les propriétés physiques et chimiques du sol (*H. Taamallah*) 149
- Influence des techniques culturales sur l'érosion et le ruissellement (*cas du sud Aveyron France*) (*M. Moussa*) 159

LES ACQUIS DE RECHERCHE DANS LE DOMAINE DE LA CONSERVATION ET DE LA VALORISATION OPTIMALE DES EAUX DE RUISSELLEMENT DANS LES REGIONS ARIDES DU CENTRE ET SUD TUNISIENS

Bellachheb Chehbani
Institut des Regions Arides
4119 Médenine - Tunisie

RESUME :

Parmi les problèmes majeurs des ouvrages de petite hydraulique (« jessour », banquettes, seuils, Fseguis et Majels) on a :

- les méthodes inadaptées pour dimensionnement de ces ouvrages ;
- la faiblesse de l'infiltration des eaux de rétention dans le sol des terrasses des ouvrages et leur perte par évaporation ;
- la fragilité du système d'évacuation (déversoirs) des eaux de débordement lors des ruissellements exceptionnels ;
- l'utilisation de techniques traditionnelles inadéquates pour l'irrigation, le puisage, le transport et la distribution des eaux stockées dans les citernes d'eau pluviale (Fseguis et Majels) destinées à des usages agricoles ;
- l'efficacité limitée des techniques d'irrigation d'appoint avec les eaux des Fasguias et des Majels.

Les recherches qui ont été entreprises pour résoudre ces différents problèmes ont permis d'aboutir aux résultats suivants :

- l'élaboration de nouvelles méthodes et d'un modèle informatisé pour le dimensionnement des ouvrages de petite hydraulique et l'aménagement des bassin-versant ;
- la conception de nouvelles techniques appropriées permettant :
 - * le drainage automatique des eaux de rétention par un flotteur-drainant gravitaire ; ces eaux drainées sont par la suite utilisées pour l'irrigation ou injectées et conservées dans les horizons profonds du sol (là où se trouve le réseau racinaire pivotant des arbres) ;
 - * l'irrigation souterraine localisée utilisant des techniques appropriées (poche en pierres enterrées, diffuseurs en PVC enterrés) conçues pour les cultures maraîchères et l'arboriculture) ;
 - * l'évacuation sans risque des eaux de débordement lors des ruissellements intenses par un système tubulaire adapté pour les ouvrages de petite hydraulique type : Jessour, banquettes et seuils ;
 - * le puisage, le transport et la distribution gravitaire des eaux des Fasguias et Majels.

Mots clés : eaux de ruissellement, régions arides, conservation des eaux et des sols, irrigation, modélisation micro-hydrologique.

SUMMARY :

In the arid regions of Tunisia, the runoff water represents an important part of the water resources. In those regions Man uses different techniques of water harvesting for : soil conservation and erosion control, water valuation for various agricultural and domestic uses.

These techniques have the following problems :

- the unadapted calculation methods used to determinate the values of hydraulic parameters of the dam, the terrace and the watershed ;
- the loss by evaporation of the retained runoff water and of the complementary irrigation water (pumped from the reservoirs) ;
- the drawing, the transport and the distribution of the stored reservoir's water ;
- the evacuation of the overflow water during the floods, through the spillways.

To resolve those problems, researchers have been carried and reached the following results :

- elaboration of new formulas to determinate the values of the mean parameters of the dams, the terraces and their watershed ;
- elaboration of a computed model including several data on the different parameters of the elementary hydrological units of a river watershed ;

- conception of appropriate techniques to optimise the use and the conservation of dam's retention water and the stored reserve's water ;
- the replacement of the actual used spillways by tubes system to avoid the destruction of the spillways and the dam during the normal and the exceptional overflow ;
- the gravity technique of drawing, transport and distribution of the reservoir's stored water.

Key words : runoff in arid lands ; runoff water harvesting techniques, conservation and saving water techniques, micro-hydrological model.

INTRODUCTION

En Tunisie les eaux de ruissellement représentent 59%($2690.10^6 \text{ m}^3 / \text{an}$) des ressources totales ($4530.10^6 \text{ m}^3 / \text{an}$) en eau. Malgré une pluviométrie plus importante dans le nord ,ces eaux de ruissellement sont plus importantes dans les régions du centre et sud du pays. En effet, compte tenu de la superficie de ces régions , au moins 50% des eaux ruissellent dans ces contrées arides recevant moins de 300 mm de pluies par an.

Pour la valorisation et la maîtrise de cet important potentiel hydrique renouvelable, différentes techniques traditionnelles et modernes sont utilisées: Jessour, Mgoud, Seuils, banquettes, Majel et Fesguia. Ces techniques présentent souvent de nombreuses défaillances (Chahbani,1984,1990) dues à (aux):

- méthodes de calcul inadéquates pour la détermination des différents paramètres de chaque unité hydraulique élémentaire(U.H.E) constituée d'un barrage, d'une terrasse et d'un impluvium.
- une mauvaise conservation et valorisation des eaux de rétention(derrière les barrages) et leur perte par évaporation.
- une technique d'irrigation inadéquate(cuvette),utilisant les eaux des Majel et des Fesguia.
- la fragilité des déversoirs traditionnels pour l'évacuation des eaux de débordement lors des ruissellements torrentiels.

Ces défaillances ont été à la base d'un programme de recherche dans le domaine de la conservation des eaux et des sols(CES), à l'Institut des Régions Arides(IRA) depuis 1983. Les principaux objectifs de ce programme sont:

- une conservation et une valorisation optimale des eaux de ruissellement,
- une meilleure lutte anti-érosive adaptée aux ruissellements exceptionnels, et une meilleure conservation des sols,
- une meilleure lutte contre les inondations catastrophiques.

Dans ce qui suit seront présentés les principaux acquis de ce programme de recherche.

1- L'élaboration d'une méthode pour le dimensionnement des ouvrages de petite hydraulique (Chahbani,1996b)

Cette nouvelle méthode part du principe suivant. Les barrages des ouvrages de petite hydraulique à rétention totale ou partielle des eaux de ruissellement, forment des unités hydrauliques et hydrologiques élémentaires(UHE)comportant chacune un barrage, une terrasse et un impluvium. Ainsi le dimensionnement de chaque UHE s'appuie sur les paramètres de chacune des composantes de l'unité. Il s'appuie aussi sur des données de ruissellement et des considérations agronomiques.

La méthode comporte différentes formules pour le calcul de la longueur maximale de rétention, la capacité maximale de rétention, la surface maximale de rétention et la surface de l'impluvium (Fig.1). Elle comprend aussi le calcul de la section du barrage basé sur la hauteur maximale de rétention. Pour ce calcul on tient compte des données micro-géomorphologiques de cette section (Fig.2).

2- L'élaboration d'un modèle informatisé incluant différents paramètres pour l'étude de tous les U.H.E d'un bassin-versant (Chahbani,1984,1990)

Dans le modèle (Fig.3), on considère chaque bassin-versant comme un « puzzle » constitué par les différentes U.H.E (Fig.4). Dans ce « puzzle » les UHE sont intimement liées entre elles. Les données sur ces liens (Fig.5), particulièrement celles concernant le déversement, ainsi que les formules sus-mentionnées (Fig.1), sont à la base du fonctionnement du modèle.

Le modèle permet d'élaborer divers types de cartes (Fig.6), utiles pour dresser un constat sur les ouvrages de petite hydraulique d'un bassin-versant. Il peut être utilisé pour la préparation d'un projet d'aménagement d'un bassin-versant avec de nouvelles UHE.

3- La conception de techniques appropriées pour optimiser l'utilisation et la conservation des eaux de rétention des HUE et des magels et Fesguia

3-1-La technique de poche en pierres enterrées pour l'injection des eaux de rétention des barrages dans les horizons profonds du sol(Chahbani,1996a)

La technique est constituée d'une poche en pierres édifiées au fond d'une tranchée(profondeur 70 cm, largeur 50 à 70 cm, longueur variable). Formées de petites(10 cm x 15 cm x 5 cm) pierres dures (grès, calcaire, dolomie etc....) cette poche (Fig.7) est protégée par une bache plastique couvrant les deux cotés latéraux et le coté supérieur. Elle est en outre liée au système de drainage de l'eau par un tube ou un tuyau souple en PVC.

Pour le drainage de l'eau de rétention parés la décantation de toute la matière colloïdale s'y trouvant, on utilise deux différents systèmes:

- Un système de tubes PVC emboîtés.
- Un système de flotteur drainant.

*-Le système de tubes PVC emboîtés (Chahbani,1996a)

Il s'agit de 2 tubes emboîtés, installés verticalement sur la "poche" en pierres et dépassant le niveau de la surface de la terrasse(Fig.8).

Le tube extérieur, tout le long de sa partie non enterrée, comporte des fentes (1cm de large) disposées en marches d'escalier, de telle sorte qu'aucune fente ne chevauche les alignements des autres. Pour cela un espacement entre les alignements des fentes a été maintenu. La partie inférieure de ce tube est munie d'un "coude". Lors de la mise en place du dispositif, ce "coude" doit être entouré par la "poche" en pierres. Ce tube extérieur, après son installation, est fixé à la surface du sol par un petit socle en maçonnerie construit après "enterrement" de la "poche".

Le tube intérieur a une longueur égale à la partie non enterrée du tube extérieur. Il est pourvu d'une fente(1 cm de large) continue sur sa longueur, sans atteindre les 2 extrémités. Sur le bout supérieur de ce tube est collé un "bouchon" (en PVC) avec un diamètre supérieur ou égal à celui du tube extérieur. Sur l'extérieur du tube intérieur, est collée une paroi en gomme, caoutchouc ou tout autre matériau spongieux dense. Cette paroi assure l'étanchéité (vis à vis des éléments en suspension de l'eau de rétention) entre les deux tubes. Elle présente en outre une fente se superposant à la fente du tube intérieur.

Avant toute utilisation, les 2 tubes doivent être disposés de telle sorte qu'aucune fente du tube extérieur (fixe) ne soit en communication avec la fente du tube intérieur(mobile). Après la décantation du matériau en suspension, on fait tourner le tube intérieur jusqu'à ce qu'il y ait une communication entre la fente de ce dernier et l'une des fentes du tube extérieur. Sur le "bouchon", ainsi que sur l'extrémité supérieure du tube extérieur, on trace des repères facilitant le réglage du niveau de drainage de l'eau de rétention. Après l'infiltration totale de l'eau, on remet les tubes à l'état de non utilisation en obstruant les fentes du tube extérieur, par rotation du tube intérieur.

Les tubes emboîtés assurant le drainage de l'eau, doivent être juste au pied du barrage. L'accès à ces tubes peut se faire par l'intermédiaire d'escaliers adossés au barrage, ou grâce à une passerelle en béton reposant sur des poutres (Fig.9).

*-Le système de flotteur drainant(Fig.10)

Il comporte un bassin (largeur 1m, longueur 2m ou plus en fonction de la hauteur de rétention maximale, profondeur 0,50 m à 1m) édifié sous le niveau de la surface de rétention. Ce bassin est adossé au barrage du côté de ce dernier, le mur du bassin se poursuit au dessus du niveau de la surface de la terrasse jusqu'au sommet de la digue où il rejoint une dalle. Dans ce même mur, en haut, est fixé le support du flotteur drainant. Au fond du bassin, ce mur est traversé par un tube en acier galvanisé. Ce dernier assure la liaison entre le tuyau flexible provenant du flotteur drainant et le tuyau souple allant directement ou indirectement(via un regard de distribution)vers la poche en pierres enterrées.

Le flotteur drainant en métal est constitué:

-d'une partie assurant la flottaison de l'appareil et l'écoulement de l'eau à travers l'orifice d'un tube lié au tuyau flexible.

-d'une partie assurant la mobilité suivant un mouvement pendulaire, de haut en bas(et vis versa),. Cette partie se compose d'un bras comportant à ses extrémités des trous acceptant des axes: l'un soudé au flotteur, l'autre au support fixé dans le mur du côté du barrage.

Les deux parties du flotteur drainant sont démontables l'une par rapport à l'autre et par rapport au support fixe installé dans le mur adossé au barrage. Le fonctionnement du flotteur drainant s'effectue comme suit.

Lorsque le barrage retient une certaine hauteur d'eau au dessus de la surface de la terrasse et après la décantation de toute la matière colloïdale contenue dans l'eau, on pose le flotteur drainant sur l'eau et on l'immerge quelques instants (pour amorcer l'écoulement et le drainage de l'eau par gravité), puis on le relâche pour flotter. Ainsi après l'immersion l'eau continue à s'écouler à travers l'orifice du flotteur vers la poche en

pierres enterrées en traversant les tuyaux flexible et souple et leur liaison. Cet écoulement gravitaire se poursuit automatiquement jusqu'à épuisement de toute l'eau retenue. le flotteur drainant touche alors le fond du bassin.

L'évacuation de l'eau peut se faire vers une poche en pierres enterrées située dans la terrasse où se trouve le flotteur drainant, et/ou vers une autre installée dans la terrasse située à l'aval. On peut aussi utiliser l'eau ainsi drainée pour l'irrigation d'appoint souterraine localisée pour l'arboriculture ou pour le maraîchage. Dans ce cas l'eau arrive à un regard de distribution construit en contre-bas du barrage(coté aval).

Après le drainage total de l'eau on retire le flotteur drainant et on le remet sur la dalle. Pour le réutiliser on effectue la manoeuvre suivant la même procédure sus- détaillée. En outre un entretien du bassin est nécessaire. Ceci concerne particulièrement l'enlèvement des produits d'érosion s'y trouvant. Après la saison des pluies, on démonte l'appareil et on le stocke jusqu'à la saison prochaine.

3.2-La technique de poche en pierres enterrées pour l'irrigation localisée des arbres fruitiers(Chahbani,1992)

Pour un nouveau plant, la poche en pierres est édifée au fond du trou de plantation(1m x 1m x 0,70m), le long des quatre coins. Constituée de trois rangées de petites pierres(10 cm x 15 cm x 5 cm) dures(grés, calcaire, dolomie etc...), disposées dans le sens de la largeur et de la hauteur. La poche est protégée sur les trois cotés(2 latéraux et 1 supérieur) par une bache en plastique. Elle comporte un tube drainant en PVC, constitué d'une partie horisontale en forme de (T) et d'une partie verticale dépassant de 10 à 20 cm la surface du sol de la terrasse. Le tube vertical est emboîté dans le (T). L'orifice supérieur de la partie verticale est équipé d'un bouchon.

Ainsi édifée, la poche en pierres forme un anneau(avec une section presque carrée de 20cm de coté) autour de la partie centrale du trou où va être installé le jeune plant(Fig.11). Une fois mise en place, la poche en pierres est couverte(enterrée) par le sol mélangé avec les fertilisants jusqu'au niveau moitié de la profondeur du trou. Ceci permettra d'installer les racines du jeune plant juste au dessous de la base de la poche après avoir creusé un trou de 20cm de profondeur au dessous de cette base (Fig. 11).

Après la mise en place du plant, on tasse bien le sol et on applique une irrigation superficielle (20 L) à l'intérieur d'une cuvette(50cm de coté) occupant la partie centrale du trou. Ceci est poursuivi par un ajout de 10cm de sol dans tout le trou de plantation. Le tassement dans ce cas n'est pas recommandé. Enfin on complète ce premier apport d'eau par une irrigation(30L) par le tube drainant de la poche. Après ces irrigations d'installation l'appoint d'eau s'effectuera uniquement par le tube de la poche. Les doses et les fréquences sont fonctions des conditions pédologiques et climatiques, de l'âge, de l'espèce, du stade et cycle végétatifs de l'arbre.

La poche peut être aussi installée pour des arbres existants. Dans ce cas on l'édifie dans un fossé autour du tronc de l'arbre à au moins 50cm de ce dernier. Le fossé aura une profondeur de 60cm et une largeur de 50cm . l'irrigation par le tube se fait dès l'achèvement de la mise en place de la poche.

3.3-L'irrigation d'appoint souterraine localisée par des diffuseurs en PVC, utilisant les eaux des Fesguia et Majel

Dans le but d'une utilisation optimale des eaux des Fesguia et des Majel par une réduction de l'évaporation après irrigation,des diffuseurs souterrains ont été conçus avec des (T) et des coudes en PVC. Deux types de diffuseur ont été testés: les diffuseurs individuels et les diffuseurs en serie.

Le premier type(Fig.11) est constitué de l'assemblage de 4 coudes et de 4 (T).Trois des 4 orifices des (T) sont disposés horisontalement et orientés vers le centre du carré formé par l'assemblage des coudes et des (T). Le 4^{ème} orifice est orienté vers le haut et recoit un tube vertical servant au drainage de l'eau d'irrigation vers les trois autres orifices. Ces derniers comportent un bouchon en éponge synthétique. Le diffuseur ainsi formé est mis puis enterré au fond d'un trou de 20cm de profondeur. Après tassement du sol , un premier apport d'eau (1l), par le tube drainant du diffuseur, est nécessaire. Cet apport facilite le creusement du trou où va être installé le plant maraîcher. Ce trou sera effectué au milieu du diffuseur jusqu'à 5cm au dessous du niveau des orifices. On y place le plant et on le rebouche en tassant le sol. Après on applique un second apport d'eau (1l) par le tube drainant du diffuseur.

Le second type(Fig.11) est constitué d'une série de (T) installés le long d'un tube en PVC de même diamètre(32mm). Les (T) sont espacés de 25cm et disposés en quinconce et se tournant le dos. L'orifice central de chaque (T) compte un bouchon en éponge synthétique et placé suivant l'horizontale. A l'une des extrémités du tube reliant les (T), se trouve le tube drainant disposé verticalement. La serie de (T) est placée puis enterrée au fond d'un fossé large et profond de 20cm environ. Après le tassement du sol couvrant la série de diffuseurs, on creuse un trou de 25cm de profondeur pour y placer le plant maraîcher. Après installation des plants, l'irrigation se fait par le tube drainant de la série.

Les deux types de diffuseur peuvent être utilisés pour l'irrigation des espèces maraichères(tomate, pastèque, melon, poivron, etc.) dès le stade de graine.

4-La conception d'un nouveau système tubulaire pour l'évacuation des eaux de débordement des ouvrages à rétention partielle (Chahbani,1996a)

4-1-Description du dispositif (Fig.12)

les déversoirs traditionnels et modernes sont très sensibles à la destruction par les eaux de débordement lors des pluies exceptionnelles. Pour éviter ce risque de destruction, on a adapté aux ouvrages de petite hydraulique, le système d'évacuation tubulaire similaire à celui de certains lacs collinaires.

Ce système comprend 2 éléments de tube: un vertical et un sub-horizontal légèrement incliné vers l'aval. Ces éléments sont liés par un "coude" ou un regard en maçonnerie. Du côté amont du barrage, le tube sub-horizontal est enterré à 50 ou 80cm de profondeur. Ce même tube passe sous le barrage et réapparaît du côté aval, où il doit être apparent sur un à deux mètres. Si on utilise des tubes en PVC, pour éviter leur détérioration par le soleil, il est recommandé de les protéger par la maçonnerie.

L'orifice du tube vertical est protégé par une cage métallique (fer cornier et filet métallique) pour éviter l'obstruction de ce tube par des débris végétaux et autres solides flottants. L'orifice du tube sub-horizontal est protégé par un clapet métallique s'ouvrant par le flux d'eau de débordement. Ce clapet évite l'accès de divers animaux (lièvres, gerboises, serpents etc.) dans cette partie de l'évacuateur tubulaire des eaux de débordement.

4-2-Calcul du diamètre du tube évacuateur (Fig.13)

Le diamètre du tube est calculé en fonction du volume (V) d'eau qu'il doit évacuer lors de la plus forte intensité pluviale instantanée. Pour cela, on considère que l'ouvrage est déjà rempli d'eau et que le sol de l'impluvium est saturé (soit un coefficient de ruissellement proche de 100%). Le volume d'eau instantané, à évacuer, correspond au débit (Q) du tube. Il est calculé en utilisant l'équation suivante:

$$Q = C \times S \times 12gH$$

Q=débit en cm^3/s ; C=coefficient=0,9; S=section du tube en cm^2 ,

g=accélération de la pesanteur=981 cm/s^2 ,

H=hauteur verticale entre le point le plus bas du tube sub-horizontal et le point le plus haut du tube vertical, en cm

Ce débit est fonction surtout de la hauteur et du diamètre du tube vertical. Pour un même diamètre de ce tube, plus la hauteur est grande plus le débit est important. De même, pour une même hauteur, plus le diamètre du tube est grand, plus le débit est important. Le volume d'eau à évacuer, correspond au volume (V_i) d'eau instantané, ruisselé sur l'impluvium du barrage, auquel il faut, éventuellement, ajouter les eaux de débordement, provenant des ouvrages situés à l'amont. Le volume (V_i) est égal au produit de la surface (S_i) de l'impluvium et de l'intensité instantanée de la pluie:

$$V_i = S_i \times I$$

V_i =volume d'eau instantané maximum, ruisselé sur l'impluvium du barrage, en (l);

S_i =surface de l'impluvium du barrage en m^2 ,

I=intensité instantanée maximale de la pluie, en mm/s ou l/s.

Conclusion

Les différentes composantes des acquis de recherche sus-détaillés ont été testées et essayées en plein champs, en vraie grandeur dans des bassins-versants expérimentaux du Sud tunisien, à Beni Khédache (Oued Demmer et Ksar Jouama) et à Tataouine (Elmesreb).

Les pluies torrentielles de l'automne 1995 à Tataouine ont pu confirmer la validité des acquis de recherche appliqués dans le bassin-versant d'Elmesreb. Ce bassin comprend des applications de:

- la nouvelle méthodologie de dimensionnement des UHE,
- la nouvelle technique tubulaire pour l'évacuation des eaux de débordement
- la technique de poche en pierres enterrées avec tubes drainant emboîtés pour l'injection de l'eau de rétention dans les couches profondes du sol.

A Beni Khédache on a testé par simulation:

- la technique de poche en pierres enterrées adaptée à l'irrigation souterraine localisée d'appoint des arbres fruitiers,
- la technique de poche en pierres enterrées avec flotteur drainant,
- l'irrigation souterraine localisée par des diffuseurs en PVC, utilisant les eaux des Fesguia et Majel,
- le modèle informatisé incluant différentes données pour l'étude des UHE d'un bassin-versant.

Ces acquis se poursuivent actuellement par:

-Des recherches pour la conception et l'essai de prototypes industrialisable pour l'irrigation souterraine localisée des arbres fruitiers est certaines cultures maraichères.

Ces prototypes dérivent de la poche en pierres enterrées et des diffuseurs en PVC,

-la vulgarisation et la diffusion de certaines(poche en pierres,évacuateur tubulaire des eaux de débordement,diffuseurs en PVC pour irrigation souterraine localisée,flotteur drainant, etc;) auprès des agriculteurs et des techniciens de la CES et de la vulgarisation.

Calcul de la longueur de rétention(Lr)

$$Lr = Hm \times \cotg P$$

Lr=longueur de rétention en (m),
Hm=hauteur maximale de rétention en (m),
P=pente du versant en degré(°).

Calcul de la capacité de rétention maximale(CRM)

$$CRM = \frac{Lr \times D \times Hm}{2}$$

CRM=capacité de rétention maximale en(m³),
Lr=longueur de rétention en(m),
D=distance entre 2 barrages transversaux en (m),
Hm=hauteur de rétention maximale en(m).

Calcul de la capacité de rétention maximale (CRM) d'un barrage de thalweg

$$CRM = \frac{Spem \times Hm}{2}$$

CRM=capacité de rétention maximale en (m³),
Spem=surface du plan d'eau de rétention maximale en (m²),
Hm=hauteur de rétention maximale en (m)

Calcul de la surface du plan d'eau de rétention maximale(Spem)

$$Spem = Sxm \times (1-a)$$

Spem=surface du plan d'eau de rétention maximale en (m²),
Sxm=surface de rétention maximale en (m²),
a=coefficient

Calcul de la surface de l'impluvium(Si)

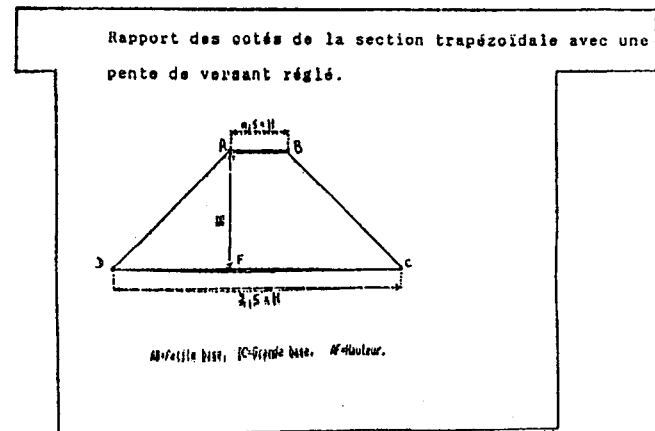
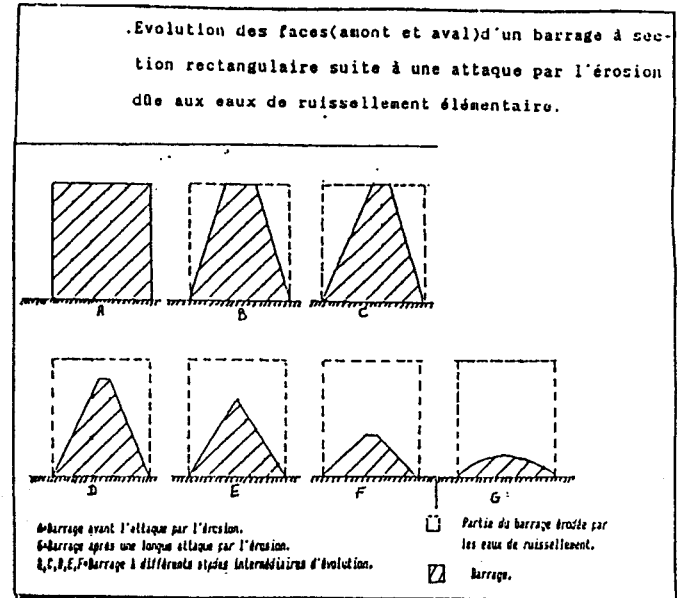
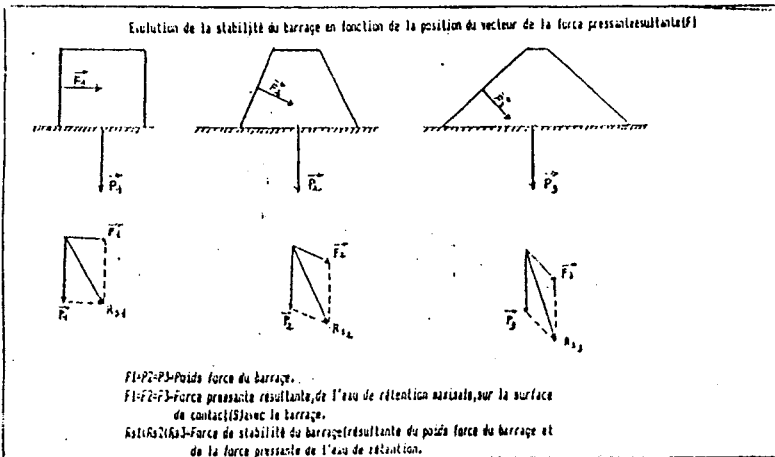
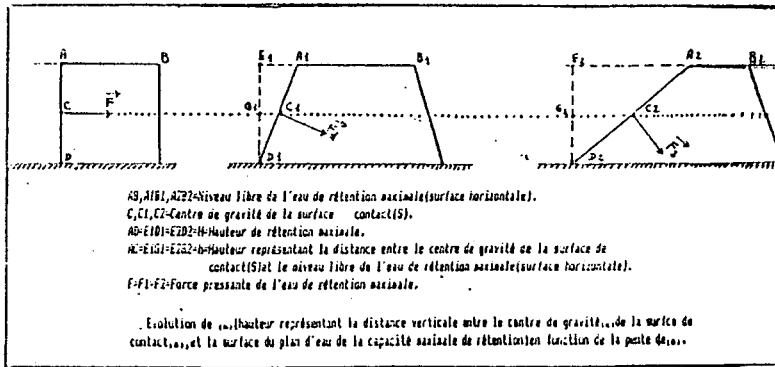
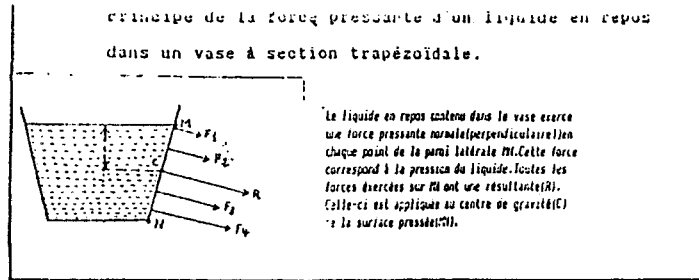
$$Si = \frac{CRM}{Pr}$$

Si=surface de l'impluvium en(m²)
CRM=capacité de rétention maximale en litre(l),
Pr=lame d'eau ruisselée(ou précipitations ruisselées) maximale quotidienne en (mm),

Rapport surface plantée et surface de l'impluvium

Pluviométrie annuelle	Rapport surface plantée sur surface de l'impluvium
150mm à 250mm	1/3
100mm à 150mm	1/5
<100mm.	1/10

Fig.1: formules utilisées pour le dimensionnement des UHE des ouvrages de petite hydraulique.



```

PG 16.2
10 OPTION BASE 1
20 SHORT S(19),M(80),R(80),Rr(120)
30 ASSIGN #1 TO "IDFJ49:F8,1"
40 ASSIGN #2 TO "DEVRSE:F8,0"
50 C=N=B=0
60 FOR I=1 TO 2492
70   B=C=N=0
80   MAT Rr=ZER
90   MAT M=(999999)
100  MAT R=(999999)
110  READ #1,I;S(*)
140  IF (S(4)=0) OR (S(4)=999999) THEN E1
150  C=C+1
160  M(C)=S(4)
170  FOR J=5 TO 17
180    IF (S(J)=0) OR (S(J)=999999) THEN E2
190    N=N+1
200    R(N)=S(J)
210  NEXT J
220 E2: FOR K=1 TO 14
240   READ #1,S(4);S(*)
250   IF (S(4)=0) OR (S(4)=999999) THEN 330
260   C=C+1
270   M(C)=S(4)
280   FOR J=5 TO 17
290     IF (S(J)=0) OR (S(J)=999999) THEN 330
300     N=N+1
310     R(N)=S(J)
320   NEXT J
330   NEXT K
340 E3: FOR I=1 TO 30
350   IF R(I)=999999 THEN E41
360   READ #1,R(I);S(*)
370   IF (S(4)=0) OR (S(4)=999999) THEN E41
380   C=C+1
390   M(C)=S(4)
400   FOR J=5 TO 17
410     IF (S(J)=0) OR (S(J)=999999) THEN E4
420     N=N+1
430     R(N)=S(J)
440   NEXT J
450 E4: FOR R=1 TO 14
460   IF S(4)=0 THEN 550
470   READ #1,S(4);S(*)
480   IF (S(4)=0) OR (S(4)=999999) THEN E41
490   C=C+1
500   M(C)=S(4)
510   FOR J=5 TO 17
520     IF (S(J)=0) OR (S(J)=999999) THEN 550
530     N=N+1
540     R(N)=S(J)
550   NEXT J
560   NEXT R
570 E41: NEXT I
580 E1:
590   FOR I=1 TO N
600     IF R(I)=999999 THEN 630
610     B=B+1
620     Rr(B)=R(I)
630   NEXT I
640   FOR I=1 TO C
650     IF M(I)=999999 THEN 680
660     B=B+1
670     Rr(B)=M(I)
680   NEXT I
690   PRINT RPr(" ",20)
700   PRINT Rr(*)
710   PRINT #2,I;Rr(*)
720 NEXT I
730 END

```

```

PG 3
10 OPTION BASE 1
20 SHORT S(120),T(19),V(35)
30 ASSIGN #1 TO "DEVRSE:F8,0"
40 ASSIGN #2 TO "IDFJ49:F8,1"
50 FOR I=505 TO 2492
60   READ #1,I;S(*)
70   S(120)=I
90   IF S(1)=0 THEN 120
100  READ #2,I;T(*)
110  S(120)=S(120)+T(19)
120  FOR J=1 TO 120
130    IF S(J)=0 THEN 115
140    READ #2,S(J);T(*)
150    S(120)=S(120)+T(19)
160  NEXT J
170  PRINT #1,I;S(*)
180 END

```

```

PG 4
10 OPTION BASE 1
20 SHORT S(120),T(19),V(35),P(37)
30 CREATE "PLRXmm:F8,0",400,37*4
40 ASSIGN #3 TO "PLRXmm:F8,0"
50 ASSIGN #1 TO "DEVRSE:F8,0"
60 ASSIGN #2 TO "VOL1 :F8,1"
70 H=0
80 FOR I=1 TO 2492
90   MAT R=ZER
100  READ #1,I;S(*)
110  IF S(1)=0 THEN 280
120  N=N+1
130  READ #2,I;V(*)
140  FOR K=1 TO 35
150    R(K)=R(K)+V(K)
160  NEXT K
170  FOR J=1 TO 120
180    IF S(J)=0 THEN 260
190    READ #2,S(J);V(*)
200    FOR K=1 TO 35
210      R(K)=R(K)+V(K)
220    NEXT K
230    R(36)=I
240    NEXT J
250    PRINT #3,I;R(*)
260  NEXT I
270 END

```

```

PG 5
10 OPTION BASE 1
20 SHORT S(120),T(19),V(35),R(37)
30 ASSIGN #1 TO "DEVRSE:F8,0"
40 ASSIGN #3 TO "PLRXmm:F8,0"
50 FOR I=1 TO 2492
60   READ #3,I;R(*)
70   READ #1,R(36);S(*)
80   R(37)=S(120)
90   PRINT I;R(*)
100  PRINT #3,I;R(*)
110 NEXT I
120 PAUSE

```

```

PG 6
10 OPTION BASE 1
20 SHORT T(35),R(37),C(35)
30 ASSIGN #3 TO "PLRXmm:F8,0"
40 FOR I=1 TO 1500
50   READ #3,I;R(*)
60   MAT T=ZER
70   READ #1,P(36);S(*)
80   FOR J=1 TO 35
90     IF R(J)<R(37) THEN 120
100    C(J)=C(J)+1
110    T(J)=R(36)
120  NEXT J
130  PRINTER IS 7,0,HWDH(196)
140  PRINT CHR$(27)@"kk25"
150  PRINT USING "35(40,X)";T(*)
160  NEXT I
170  PRINT USING "35(40,X)";C(*)
180  END

```

Fig.3:Modèle informatisé, pour l'étude de l'UHÉ d'un bassin versant.

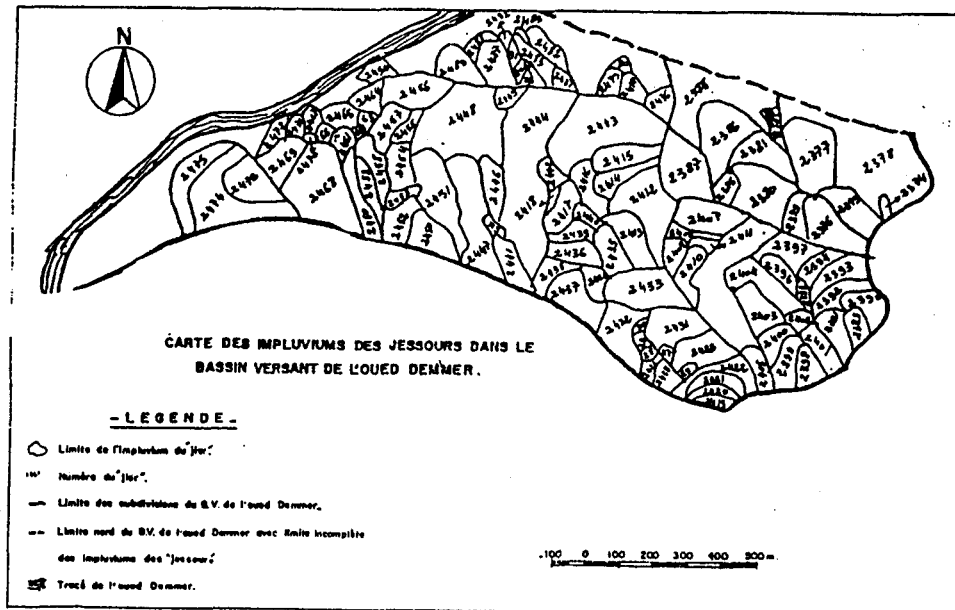


Fig.4: exemple d'un "puzzle" d'UHE dans le bassin-versant de l'oued demmer à Beni khédache(Sud tunisien).

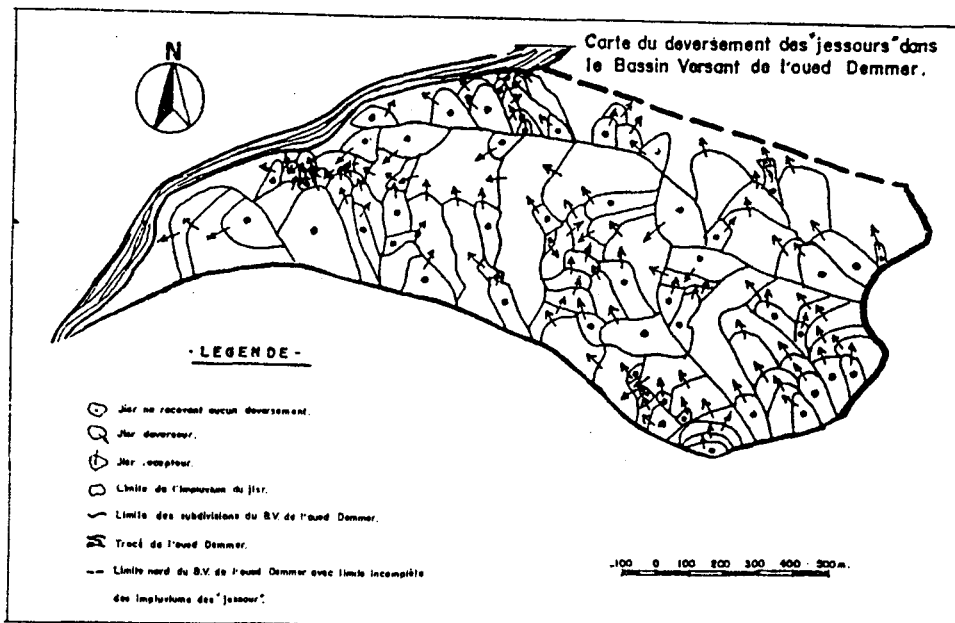


Fig.5: Exemple de lien de déversement des UHE dans le bassin-versant de l'oued demmer à Beni khédache(Sud tunisien).

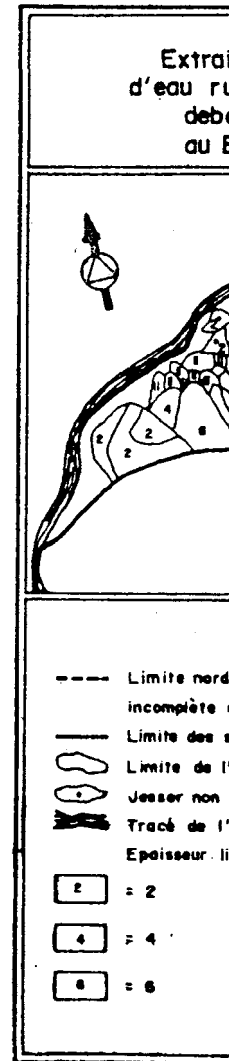
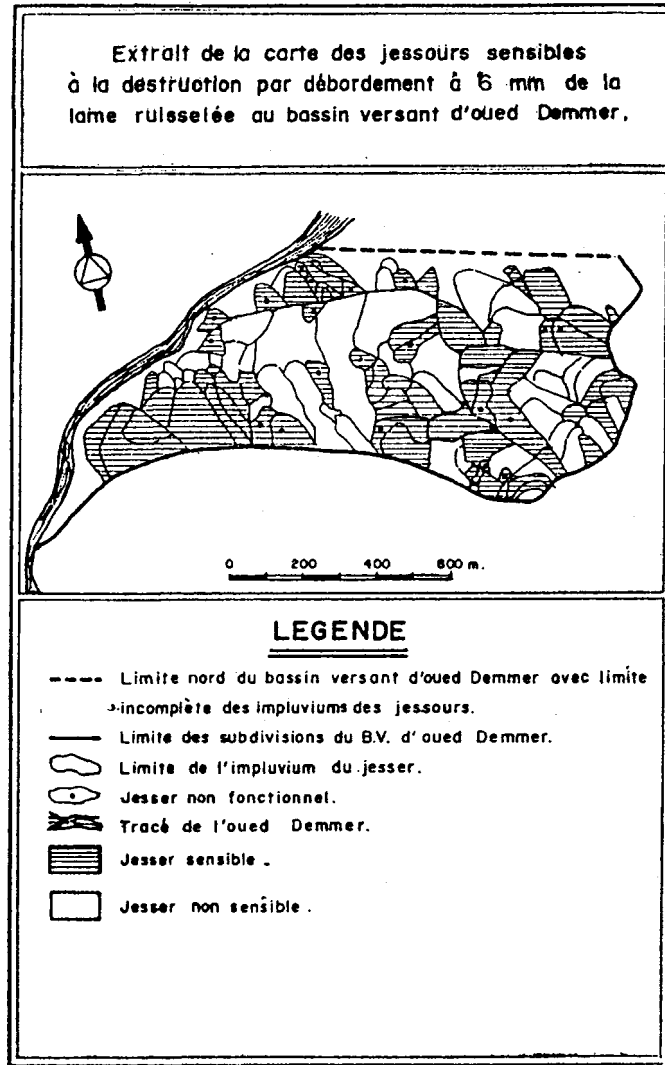


Fig.6: Exemples de cartes élaborées en utilisant le modèle inform

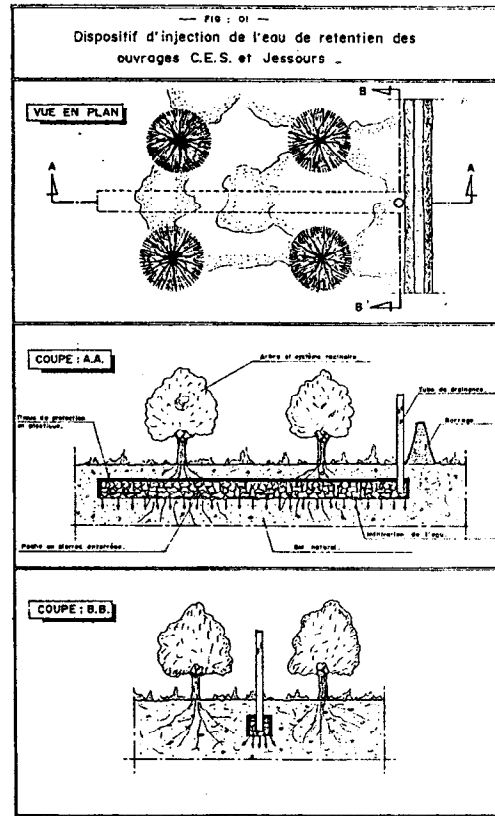


Fig.7: La "poche" en pierres enterrées pour l'injection des eaux de rétention dans les horizons profonds du sol.

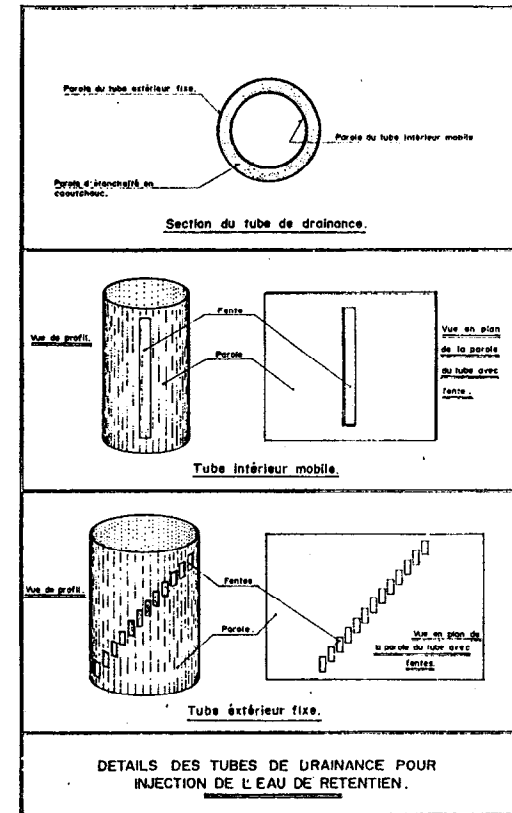
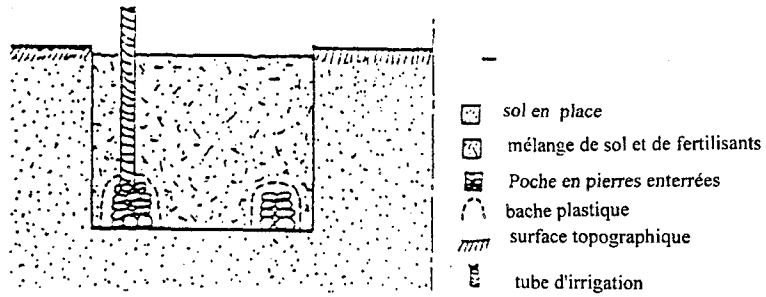
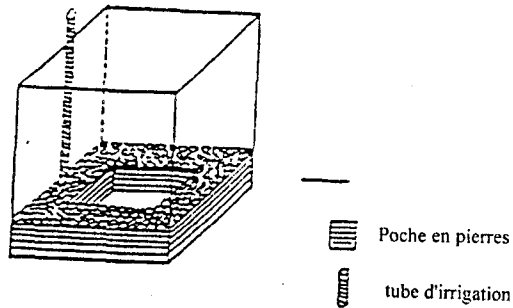


Fig.8: Le système de tubes PVC emboîtés pour le drainage de l'eau de rétention vers la "poche" en pierres enterrées.



Vue en coupe de la poche en pierres enterrées installée au fond d'un trou de plantation.



Vue en perspective de la poche en pierres installée au fond d'un trou de plantation.

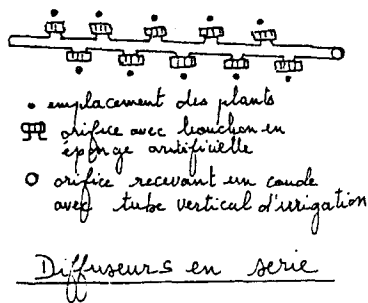
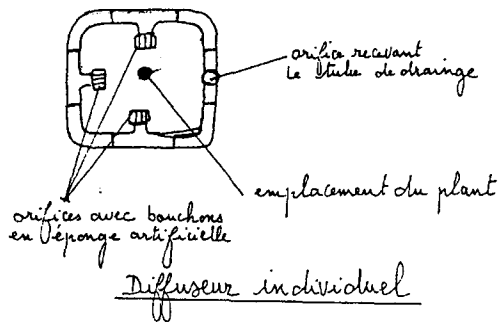


Fig. 11: techniques de poche en pierres enterrées et de diffuseurs en PVC pour l'irrigation souterraine localisée des arbres fruitiers et des plants maraichers

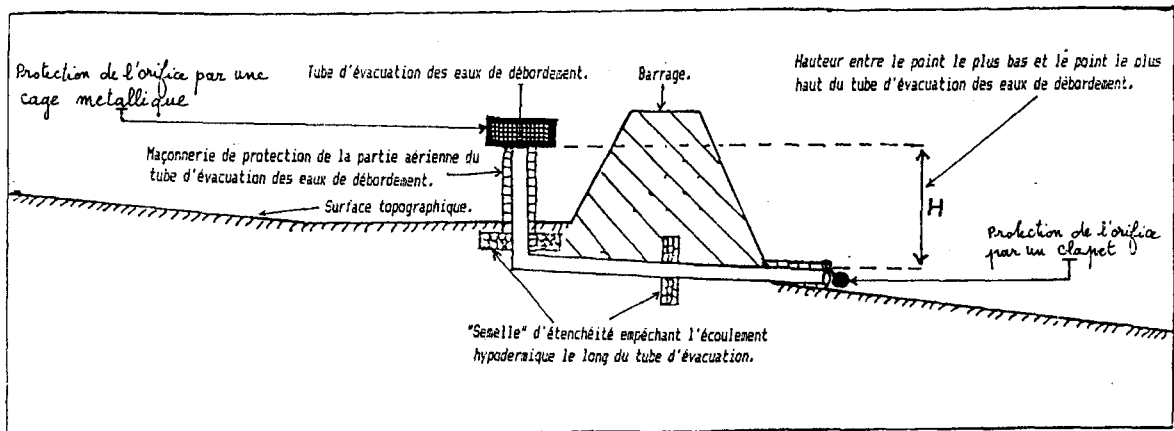


Fig.12: Vue en coupe du dispositif tubulaire pour l'évacuation des eaux de débordement.

Calcul du volume d'eau instantané maximum, ruisselé sur l'impluvium du barrage

$$V_i = S_i \times I$$

V_i = volume d'eau instantané maximum, ruisselé sur l'impluvium du barrage, en (l).
 S_i = surface de l'impluvium du barrage en m^2 .
 I = intensité instantanée maximale de la pluie, en mm/s ou l/s

Calcul du volume d'eau instantané maximum à évacuer par le système tubulaire d'un barrage,

$$Q = V_i + V_d$$

V_i = volume d'eau instantané maximum, ruisselé sur l'impluvium du barrage, en (l).
 V_d = volume d'eau instantané provenant des débordements des barrages situés à l'amont.

Calcul du diamètre du tube d'évacuation des eaux de débordement

$$Q = C \times S \times \sqrt{2gH} = V_i + V_d$$

Q = débit en cm^3/s ; C = coefficient = 0,9; S = section du tube en cm^2 ,
 g = accélération du pesanteur = 981 cm/s^2 .
 H = hauteur verticale entre le point le plus bas du tube sub-horizontale et le point le plus haut du tube vertical, en cm
 V_i = volume d'eau instantané maximum, ruisselé sur l'impluvium du barrage, en (l).
 V_d = volume d'eau instantané provenant des débordements des barrages situés à l'amont.

Fig.13: Formules utilisés pour le calcul du diamètre du tube.

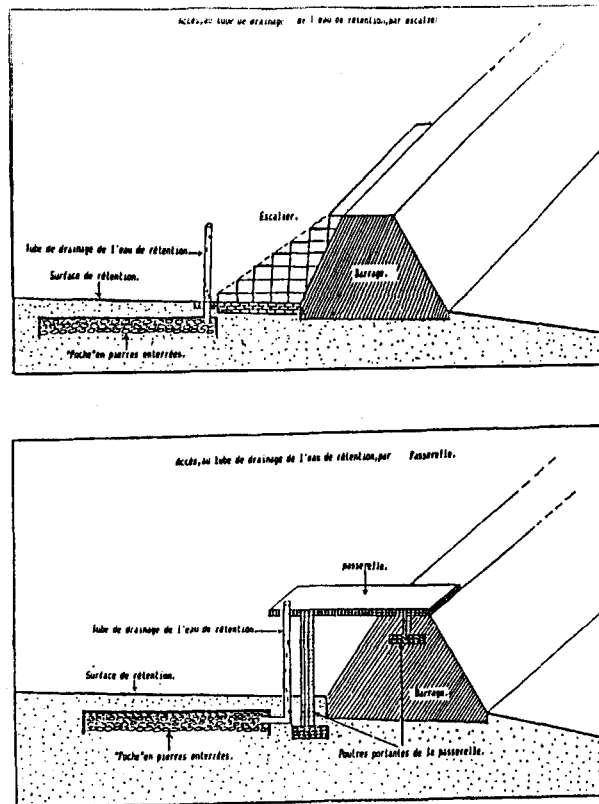


Fig.9: Types d'accès au système de tubes PVC emboîtés pour le drainage de l'eau de rétention vers la "poche" en pierres enterrées.

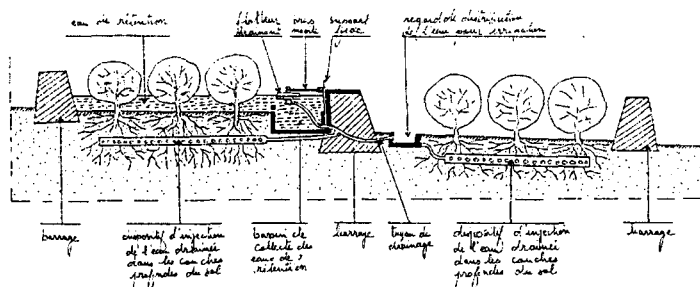


Fig.10: Le système de flotteur drainant pour l'écoulement vers la "poche" en pierres enterrées ou vers un bassin de distribution.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chahbani.B,1984-Contribution à l'étude de l'érosion hydrique des loess de Matmata et de la destruction des "jessour". Bassin versant de l'oued Demmer, Béni khedache, sud tunisien. Thèse pour l'obtention du Doctorat de 3ième cycle (Master) en géomorphologie appliquée. Université de Paris I. 1984.
- Chahbani.B,1990-Contribution à l'étude de la destruction des ouvrages de petite hydraulique dans le sud tunisien. Revue des Régions Arides. N°1. Publication de l'Institut des Régions Arides. 1990.
- Chahbani.B,1992-The "buried stones pocket" a new irrigation technique for trees plantations in arid regions. Proceedings of Nato Workshop: water saving techniques for plant growth (17-19 september 1990-Gent-Belgium). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 1992.

- Chahbani.B,1996a-Researches on Water and Soil Conservation and Valorization in Aridlands of South and Center of Tunisia .Symposium of Water Resources in Arab countries.Tripoli (Lybia)-18-21 March 1996.
- Chahbani.B,1996b-Nouvelle méthode pour le dimensionnement des ouvrages de petite hydraulique dans le centre et sud tunisiens. Revue des Régions Arides N°9(1/96). Publication de l'Institut des Régions Arides. Medenine-Tunisie.

LES PLUIES EROSIVES EN TUNISIE CENTRALE: ANALYSE STATISTIQUE ET MODELISATION DYNAMIQUE.

Y.ZAHAR

Docteur-Ingénieur. Maître-Assistant. Université de Tunis 1.
Faculté de La Manouba, Département de Géographie.

RESUME

Deux chroniques saisonnières d'automne et de printemps sont simulées sous la forme de successions d'épisodes de pluie séparés par des intervalles secs. La plupart des épisodes ont une érosivité négligeable et ne contribuent que marginalement dans la dynamique érosive. Certains, par contre, notamment les maxima saisonniers, ou annuels (maxima des deux saisons) peuvent avoir une érosivité intense. Ce schéma est caractéristique d'un certain type de climat, celui de la Tunisie centrale semi-aride.

La mise en oeuvre d'un générateur stochastique des pluies, et d'un modèle d'érosivité des épisodes pluvieux, permet de grossir l'échantillonnage à volonté. Le but final, une fois les modèles devenus opérationnels, c'est d'étudier les caractéristiques de pluie (intensité, volume, énergie ...), qui font la dégradation des terres en milieu semi-aride.

Mots-clés : Tunisie centrale - Pluie - Erosivité - Index Wischmeier - Génération stochastique.

SUMMARY

Two seasonal chronicles of autumn and spring have been simulated in the form of successive episodes of rainfall separated by dry periods. Most of the episodes have negligible erosivity and contribute, thus, marginally in the erosion dynamics. On the contrary, the seasonal and annual maximas could have a high erosivity. These are the main characteristics of the semi-arid climate of central Tunisia.

The use of rainfall stochastic generator with an erosivity model allowed the multiplication of the simulated rainfall events. The characteristics (intensity, volume, energy, ...) of the eroding showers in the semi-arid areas will be determined by the developed model.

I - INTRODUCTION

L'ensemble du travail présenté ici s'appuie sur un générateur stochastique de pluie qui a été mis au point à partir d'une série pluviographique de 15 ans, située sur Oued El Hissiane (Dj Semmama, Tunisie centrale), et d'un modèle empirique de calcul de l'érosivité des pluies, du type décrit par W.H WISCHMEIER (1959).

Cette souplesse dans la constitution de chroniques saisonnières, obtenues par génération stochastique, nous a permis de multiplier les essais aussi souvent que cela a été nécessaire, et de présenter l'information avec un fort grossissement (chroniques de 500 ans notamment). C'est cette caractéristique des valeurs simulées que nous allons exploiter pour observer en particulier la distribution conditionnelle de l'érosivité, en fonction de descripteurs simples de la pluie, telles que le volume d'eau de l'épisode pluvieux, l'intensité maximale, ou l'énergie cinétique.

II - Statistique de l'érosion sur l'oued El Hissiane

L'Oued El Hissiane est un bassin expérimental appartenant au programme de "Recherches en milieu Méditerranéen semi-aride" (convention DGRE-ORSTOM), avec pour objectif l'étude de l'érosion en Tunisie centrale. Il s'agit d'un bassin versant de 15,9 Km², situé sur le versant nord-est de Djebel Semmama (1314 m), (Figure 1) :

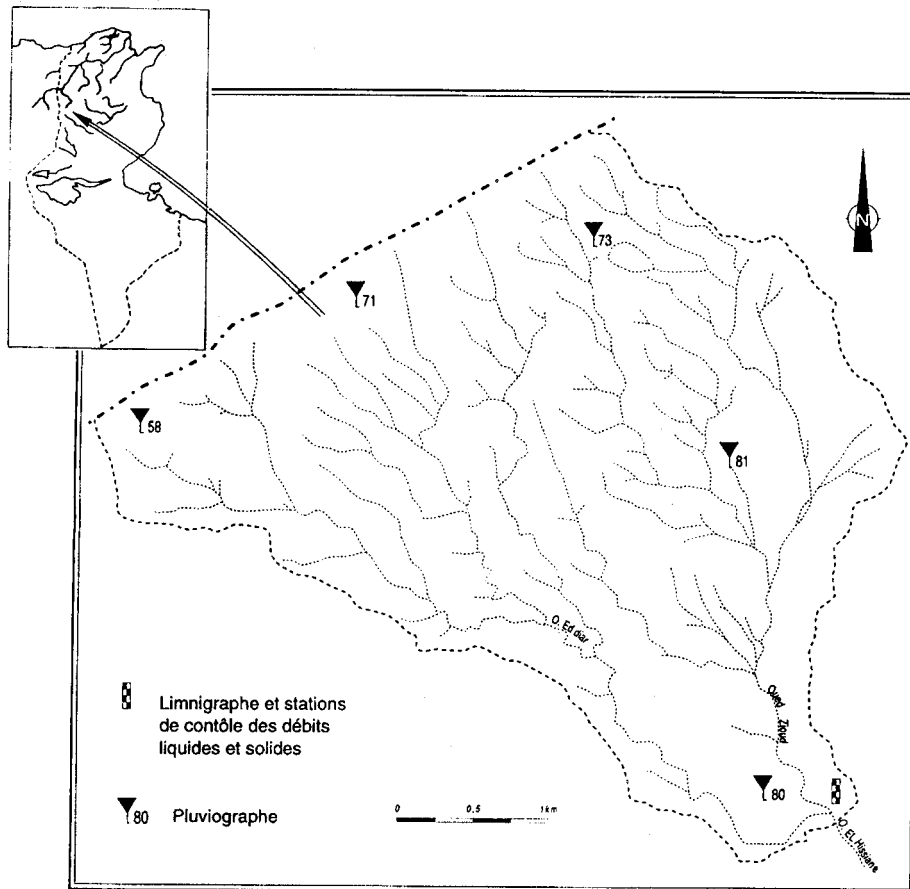


Figure 1 : Bassin expérimental de l'oued El Hissiane

A l'exutoire aval, nous disposons de 11 ans de mesures de transport solide en suspension (1977/78 à 1987/88). Un examen rapide des chroniques, a fait ressortir un total de 93 épisodes érosifs enregistrés en 11 ans de mesures, soit en moyenne 8,5 épisodes par an (Tableau 1).

Tableau 1 : Transport solide en suspension (T.S.S)

Mois	TSS(tonnes)	népisodes	TSSépisode
JANVIER	35	2	17,5
FÉVRIER	43	3	14,3
MARS	1126	10	112,6
AVRIL	1751	12	145,9
MAI	1948	11	177,1
JUIN	4971	12	414,3
JUILLET	90	2	45
AOUT	2885	6	480,8
SEPTEMBRE	7128	18	396,0
OCTOBRE	3484	11	316,7
NOVEMBRE	502	4	125,5
DÉCEMBRE	103	2	51,5
TOTAL	24066	93	236

Il apparaît que les mois de septembre et de juin sont les plus érosifs, ils dépassent assez significativement par le total mesuré et par le nombre d'événements les autres mois. Mais il apparaît par ailleurs que l'érosivité des épisodes pluvieux est plus intense pour le mois d'août, probablement à cause des très fortes intensités observées au cours de ce mois (elles sont généralement les plus fortes de toute l'année), mais probablement, aussi à cause de l'anémie de la végétation à la fin de l'été, et du durcissement du sol qui empêche l'infiltration.

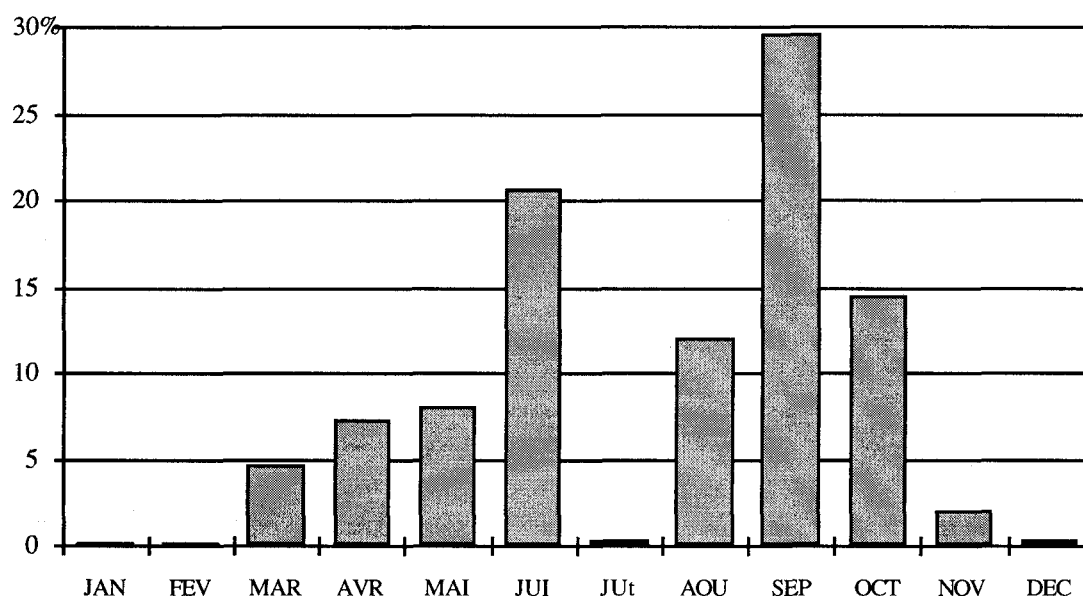


Figure 2 : Répartition mensuelle des pourcentages de transport solide en suspension

D'après la répartition mensuelle du transport solide en suspension (figure 2), les saisons érosives apparaissent comme étant, deux saisons de 4 mois chacune :

L'automne : d'août à novembre.

Le printemps : de mars à juin.

Avec ce découpage saisonnier, on trouve que : 54% du transport solide en suspension se produit en automne, 45% au printemps. Les trois mois de l'hiver (de décembre à février), et l'été (simplement le mois de juillet) ne constituent pas de risques de dégradation des terres (au total 1% du transport solide en suspension).

Par ailleurs, la turbidité moyenne annuelle est égale à 25g/l, avec une variabilité interannuelle comprise entre 13 et 37 g/l. Cette turbidité peut atteindre 48g/l pour certains épisodes érosifs extrêmes. En effet, la dynamique érosive est sujette à de très grandes fluctuations, il suffirait d'une pluie exceptionnelle (par son érosivité) dans l'année pour observer les records de transport solide. Les conditions particulières d'aridité climatique et de pluies orageuses intenses, ont fait de cette région du pays, une des régions les plus exposées à l'érosion hydrique. Le milieu étant particulièrement fragile, un orage exceptionnellement intense, d'automne ou de printemps, peut enregistrer à lui seul les records d'érosion dans l'année.

Nous avons sélectionné les valeurs maximales annuelles de transport solide en suspension. On constate que ces événements maxima annuels totalisent en effet souvent, un fort pourcentage du total annuel (Tableau 2).

Tableau 2 : Contribution du TSS maxima annuel dans le TSS annuel

Date	H _{épisode}	TSS _{tonnes}	% TSS _{annuel}
01/06/78	39 mm	1722	73%
31/08/79	19,5 mm	735	39%
05/03/80	75 mm	546	97%
26/09/80	17,5 mm	106	38%
25/09/81	16,2 mm	1192	31%
20/06/83	38,4 mm	1783	84%
09/08/84	23,1 mm	313	20%
22/10/84	24,4 mm	2436	76%
15/09/85	42,2 mm	3842	66%
08/10/86	7,6 mm	198	41%
12/08/88	10,9 mm	750	78%

A eux seuls ces 11 épisodes érosifs maxima annuels ont contribué à 59% de l'érosion totale mesurée, au point que l'érosion annuelle est corrélée à l'érosion maximale annuelle (Figure 3).

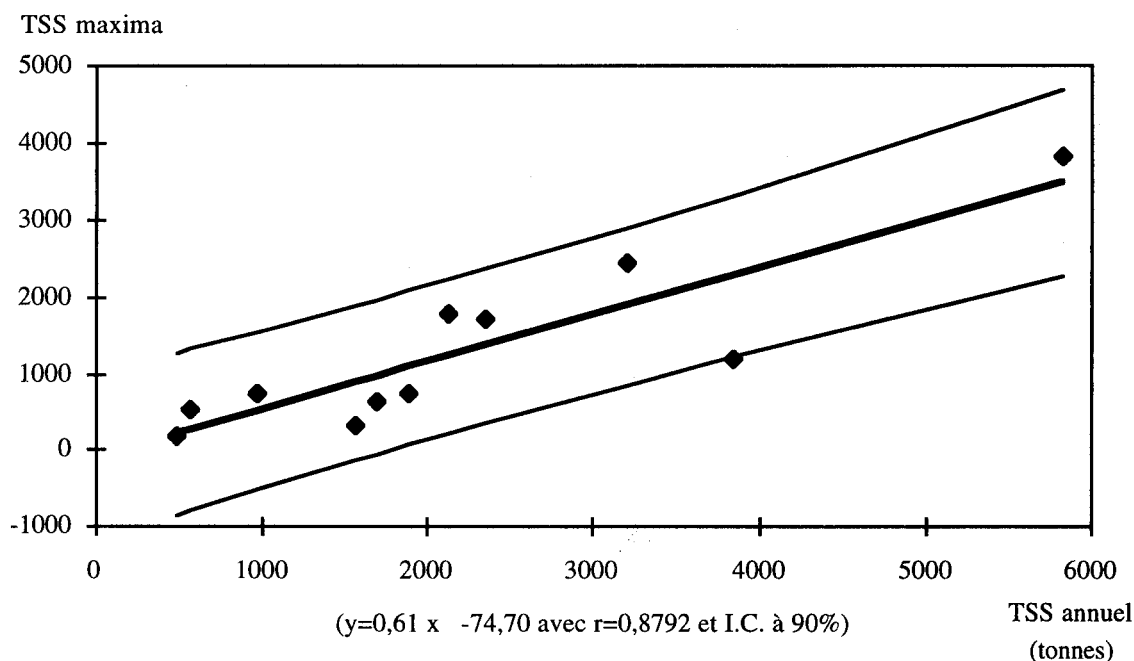


Figure 3 : Régression érosion annuelle-érosion maximale annuelle

Cette particularité d'événements maxima isolés responsables de la majorité de l'érosion observée se vérifie un peu partout en Tunisie, on cite :

JM.MASSON (1971) "L'érosion contemporaine est due à des conditions particulières de déséquilibre où il ne peut se former autant de terre qu'il en est emporté : 100t/ha pour un seul orage !" .

E.ROOSE (1976) "Contrairement à ce qu'on observe en zone méditerranéenne et saharienne où la pluie exceptionnelle décennale ou centenaire transforme radicalement le paysage, {} ce n'est pas la pluie exceptionnelle qui détermine le niveau de l'érosion en milieu tropical humide et sec mais bien la somme des dix ou vingt plus fortes pluies de l'année."

J.P DELHOUME (1985) "3,5% des pluies totales mesurées entre 1976 et 1981 provoquent 50 à 75% de l'érosion totale mesurée" sur parcelle expérimentale en Tunisie centrale.

J.BOURGES & S.BOUZAIANE (1973) Une pluie violente le 12/12/73 a provoqué 44% de l'érosion totale obtenue en 5 ans d'observation sur un bassin versant du sud tunisien de 2,2 Km²

Il est évident que l'épisode pluvieux maxima annuel n'est pas automatiquement responsable de l'érosion maximale annuelle. Cependant nous constatons curieusement que la majorité des épisodes pluvieux provoquant les événements érosifs maxima annuels, sont des maxima pluvieux de l'année : 9 sur 11 plus exactement, et les 2 autres épisodes ont été les plus importants de l'année enregistrés sur les stations pluviométriques situées à l'aval du bassin versant.

Suite à ces quelques analyses statistiques des caractéristiques de l'érosion en milieu méditerranéen semi-aride, on va chercher à tirer quelques enseignements généraux sur la distribution conditionnelle de l'érosivité de la pluie, en fonction de paramètres de pluie plus simples à calculer (intensité, volume, énergie). Pour ce faire nous avons pensé à développer un modèle de génération stochastique d'épisodes pluvieux, pour simuler leurs érosivités respectives.

III - Principe de la simulation stochastique

1 - Génération de saisons de pluies

La génération des pluies a été réalisée pour chaque saison érosive (l'automne et le printemps). Chaque saison comporte "NP" épisodes, et chaque épisode "NA" averses. Deux épisodes consécutifs sont, par définition, séparés par au moins 12 heures sans pluie, et deux averses successives sont séparées par au moins 1h 30 minutes sans pluies. Le principe du générateur consiste à considérer la pluie comme un processus intermittent composé par une succession d'épisodes pluvieux séparés par des périodes sèches plus ou moins longues. La quantité d'eau totale tombée au cours d'un épisode dépend du nombre d'averses et de la quantité apportée par chacune d'elles.

Ainsi un épisode pluvieux peut être décrit d'une manière satisfaisante à l'aide d'uniquement 6 variables aléatoires (P.TODOROVIC & V.PYEVJEVICH : 1969):

1 - NA : Nombre d'averses par épisode.

2 - DA : durées des averses (nombre entier multiple de 30').

3 - IA : Intervalle entre deux averses (nombre entier multiple de 30' également).

4 - HA : Hauteur des averses (mm).

5 - RA : Rapport de l'intensité maximale en 30' à l'intensité moyenne de l'averse (%).

6 - PA : Position du maximum de l'averse. Chaque averse par hypothèse ne comportera qu'un seul maximum.

Nous avons exploité une station pluviographique de l'oued El Hissiane (le PG73), qui est située à 1042 m d'altitude, et sur laquelle nous disposons d'une série 15 ans d'observation (1976/77 à 1989/90), formés par :

- 140 épisodes d'automne, qu'on peut décomposer en 176 averses.

- 151 épisodes de printemps, constitués par 193 averses.

Pour chaque saison, les paramètres sont indépendants les uns des autres, les corrélations calculées sur l'échantillon observé de 15 ans, étant apparues négligeables.

Donc, des lois théoriques ont été calées sur les distributions expérimentales de chaque paramètre, et pour chaque saison. La simulation se fait en utilisant un générateur de nombres aléatoires. La valeur de chaque paramètre est fixée par anamorphose entre la loi uniforme du générateur aléatoire, et la loi théorique du paramètre concerné. La succession des tirages des paramètres épisodes par épisodes et année par année, à chaque saison, permet de reconstituer des chroniques saisonnières aussi longues que souhaitables (Y.ZAHAR : 1994).

Pour obtenir des statistiques annuelles de l'érosivité nous pouvons à partir des chroniques saisonnières générées, rassembler aléatoirement les saisons deux à deux pour en faire une série annuelle. En effet, nous avons observé que les hauteurs saisonnières de pluies d'automne et de printemps sont décorréliées ($r = 0,22$).

2 - Calcul de l'érosivité de la pluie

L'érosivité des épisodes de pluie, générés successivement, se calcule à partir de l'index R de W.H WISCHMEIER (1959).

Cet index tient compte de l'effet conjugué de la hauteur, de l'intensité et de la durée de la pluie. Il est égal au produit de l'énergie cinétique par l'intensité maximale en 30 minutes, et se calcule de la manière suivante :

Prenons l'exemple d'une averse qui produit un volume "h". Pour chaque intensité constante dépouillée " I_i " de durée égale à 30', on calcule l'énergie cinétique unitaire " e_i ", correspondante à un mm de pluie, par la relation empirique suivante :

$$e_i = 8,73 \text{ Log}_{10} I_i + 11,9$$

L'énergie cinétique du segment h_i de 30' est égale à :

$$E_i = e_i \cdot h_i$$

L'énergie cinétique globale de toute l'averse est égale à la somme des énergies cinétiques de chaque segment :

$$E = \sum_{i=1}^n e_i \cdot h_i$$

Le facteur R, index de la pluie se calcule à son tour par :

$$R = K \cdot E \cdot I_{30\text{max}}$$

Dans le système d'unité international (J.M.MASSON : 1971)

E : Énergie cinétique en Joules/m².

$I_{30\text{max}}$: Intensité maximale en 30 minutes pour une averse exprimée en mm/h.

K : constante qui dépend du système d'unité :

$$K = 1/685$$

L'index R n'a pas de dimension, mais quand tous les autres facteurs sont maintenus constants, l'érosion lui est proportionnelle. Il se calcule, pour une pluie, pour un mois, pour une saison, ou pour l'année. On peut en calculer la moyenne annuelle ou le cumuler sur plusieurs années. Les résultats obtenus sont proportionnels aux pertes en terre pour la durée sur laquelle l'indice d'agressivité a été calculé.

Son application a été testée pour des climats aussi variables que ceux des États Unis, de l'Afrique tropicale ou de mousson, ou encore de la Méditerranée...L'index des pluies R doit probablement ses caractéristiques d'universalité, par le fait qu'il rend compte aussi bien des pluies intenses et orageuses, comme c'est le cas en climat méditerranéen (J.M.MASSON : 1971), que des pluies plus volumineuses et plus énergétiques, comme les pluies tropicales (E.ROOSE : 1977).

3 - Validation des modèles

Compte tenu de la région climatique étudiée qui fait apparaître que les pluies les plus fréquentes et les plus érosives sont les plus brèves et les plus intenses, le générateur d'averses est apparu comme un bon outil de travail. Il est stable à l'initiation du tirage au hasard, et la multiplication des essais a fait apparaître de faibles écarts entre chaque série générée, et par rapport aux observations. En particulier, le fait de générer des averses avec un seul maximum n'a pas été un handicap, étant donné qu'à de rares exceptions près, la majorité des averses observées ne comportent qu'un seul pic, situé souvent en début d'averse (première demi-heure).

Enfin, les valeurs moyennes épisodiques et saisonnières (de pluies et d'érosivité) sont apparues homogènes et sensiblement égales aux valeurs observées, et les courbes IDF générées et observées sont superposables.

IV - Résultats

A partir de la génération stochastique de multiples épisodes de pluies, on va s'attacher à étudier leurs caractéristiques (intensité, volume, énergie ...), qui font qu'ils soient plus ou moins érosifs en milieu semi-aride.

En effet, il arrive d'observer que deux épisodes pluvieux produisent le même volume d'eau par contre leurs conséquences sur l'érosion des sols sont très variables. Il arrive encore qu'un épisode moins abondant qu'un autre soit nettement plus érosif. C'est le cas notamment, de deux épisodes observés à la station El Hissiane, et qui ont retenu notre attention, il s'agit des épisodes du 5 mars 1980 et du 15 septembre 1985 (H.CAMUS, R. DUMAS, M.BEN YOUNES : 1982-1989).

Au delà des disparités saisonnières, on a observé, que :

- Le premier présente un record des pluies absolu de la série : 75 mm en moyenne sur l'ensemble du bassin, malgré cela le transport solide résultant est relativement faible : 546 tonnes.

- Le second a apporté un volume d'eau plus faible : 42 mm en moyenne, par contre l'érosion à l'aval a été record : 3842 tonnes.

En fait, le premier épisode a duré 8h51' et son intensité maximale en 30' était égale à 16,6 mm/h. Le second n'a duré que 3h35' et l'intensité maximale en 30' était égale à 40,5 mm/h. Ces différences de durées et d'intensités en 30' ont fait toute la différence sur les valeurs d'érosion.

En travaillant sur des données simulées, il est aisé pour nous de reconstituer les différents couples pluie-érosivité. Pour chaque quantité de pluie, on obtient la distribution conditionnelle de l'érosivité, en fonction de l'intensité en 30' ou de l'énergie cinétique. Chaque point correspond à un événement érosif particulier, et pour une même quantité de pluie correspond une infinité de taux d'érosivité. Nous cherchons ainsi à définir des ordres de grandeur des variabilités de l'érosivité de l'événement pluvieux en fonction de son volume d'eau ou de son intensité maximale, et à expliquer les raisons qui font qu'un épisode pluvieux exceptionnel n'est pas obligatoirement un épisode érosif exceptionnel.

1 - Distribution conditionnelle des index en fonction des hauteurs d'eau

Dans un premier temps nous avons cherché à voir de quelle manière se distribuent les index R de l'érosivité en fonction de la hauteur H d'épisode, et selon les saisons.

Nous avons généré 500 saisons d'automne et de printemps. En reportant sur les figures 4 et 5 les couples de points (H,R), on observe que les points expérimentaux se situent évidemment en dessous d'une courbe enveloppe, qui joint les couples (H,R) pour lesquels la totalité de la pluie a été enregistrée en 30'. L'intervalle de variation se situe donc, théoriquement entre cette courbe et 0.

L'ajustement des courbes quantiles, fait apparaître que les pluies d'automne se distribuent à peu près normalement sur tout l'intervalle de variation, par contre les pluies de printemps ont tendance à être moins intenses, ce qui fait que les courbes quantiles de printemps se redressent moins, et s'écartent sensiblement de la courbe enveloppe. L'intervalle inter-déciles (Q90-Q10) est donc plus large en automne qu'au printemps et surtout vers les fortes valeurs de H. Il apparaît que c'est le caractère plus intense et plus bref qui distingue une érosivité plus importante des pluies d'automne par rapport à celles du printemps.

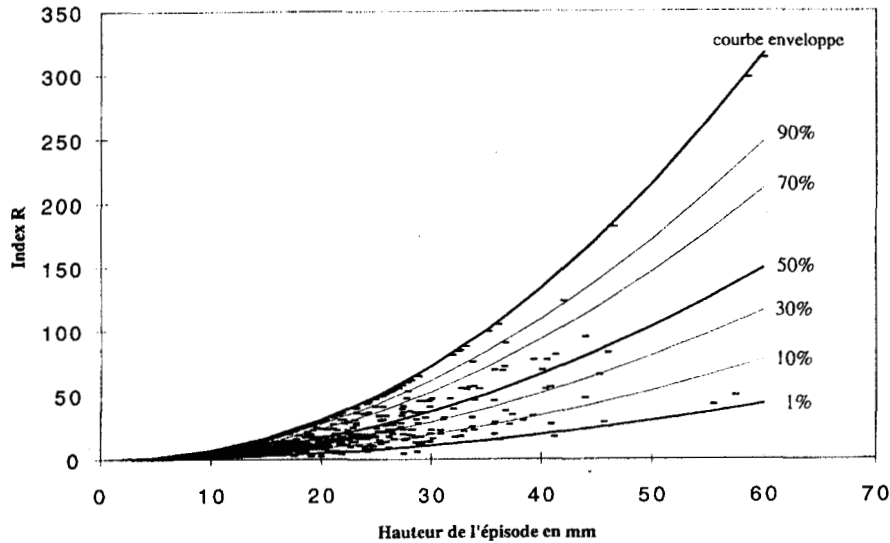


Figure 4 : Distribution des quantiles d'automne hauteur de pluie-index d'érosivité

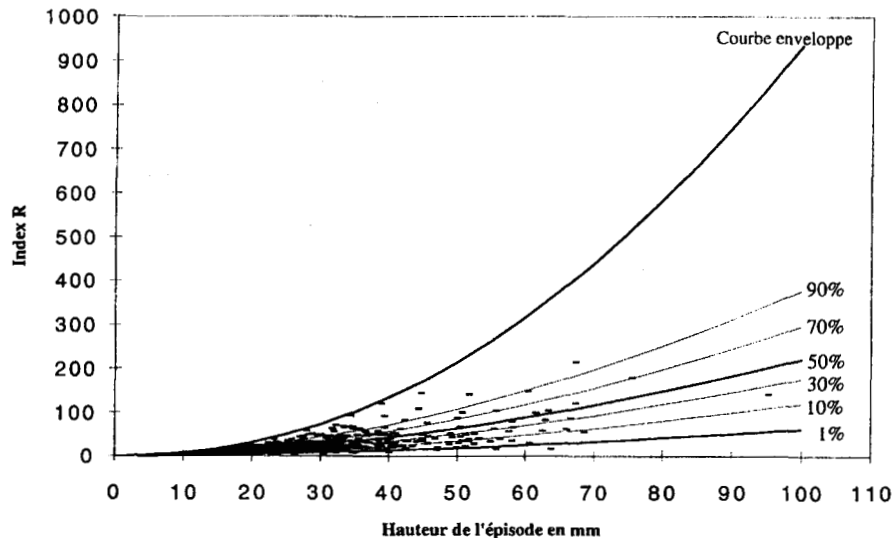


Figure 5 : Distribution des quantiles de printemps hauteur de pluie-index d'érosivité

Toutefois, excepté les valeurs les plus extrêmes de R, le rapport de variation est plus homogène. En effet que ce soit en automne ou au printemps, l'érosivité varie dans un rapport de 1 à 3 à l'intérieur de l'intervalle interdécile, et de 1 à 1,8 dans l'intervalle compris entre les quantiles 30% et 70%. Ceci est dû au fait qu'en transformation logarithmique la distribution des couples H-R est homoscedastique et forme un nuage de points où les liaisons sont relativement fortes ($r = 0,94$ en automne, et $r = 0,93$ au printemps). La courbe de régression, obtenue par le tracé de la fonction qui lie R à H et qui a pour expression :

$$\text{en automne : } R = 0,039H^2$$

$$\text{au printemps : } R = 0,053H^{1,8}$$

Si on se place sur cette courbe, on constate que le modèle de liaison de l'index des pluies R à la hauteur de l'épisode H, est du type parabolique, surtout pour l'automne. Plus les pluies sont brèves et intenses, moins elles sont "énergétiques" et plus la relation qui lie R à H est proche de la forme :

$$R = \alpha H_{30}^2$$

C'est cette relation que qualifie E.ROOSE (1977) de "relation curvilinéaire" pour les pluies orageuses qu'il observe en climat continental de l'Afrique de l'ouest. Inversement il observe qu'il existe entre la hauteur des pluies journalières et l'index R une "relation rectilinéaire" pour les pluies de mousson dans la zone côtière de l'Afrique

tropicale. En effet dans ce cas les pluies sont plus abondantes donc plus énergétiques, le paramètre H a le plus grand poids dans l'équation de détermination de R et la relation tend vers une forme linéaire :

$$R = \alpha H$$

Donc pour notre type de climat nous obtenons une relation du type parabolique entre R et H. Il ne fait pas de doute que pour les deux saisons l'intensité des pluies est le facteur déterminant de l'érosion. On s'interroge alors, si la liaison n'est pas plus significative entre l'index R et l'intensité en 30 minutes ?

2 - Distribution conditionnelle des index en fonction des intensités maximales en 30 minutes

S'il semble que le paramètre principal qui lie la pluie à l'érosion est l'intensité maximale de l'orage d'automne ou de printemps, pourquoi ne pas chercher une manière plus simple pour déterminer l'érosivité des pluies ?

En effet, JM.MASSON (1971), dans le cas d'expérimentations sur parcelles au Djougar (au nord de notre zone d'étude de la Tunisie centrale), observe que "l'index R ne renseigne pas mieux sur l'agressivité d'une pluie que des caractéristiques plus faciles à calculer, comme l'intensité maximale en 15' ou en 30' ". Il explique cela par le caractère orageux des pluies.

En reportant les couples de points (R, H_{30}) sur un graphique log-log, on observe une liaison significative entre R et H_{30} ($r = 0,97$ en automne, $r = 0,96$ au printemps) que nous pouvons modéliser à l'aide d'une équation parabolique. Dans ce cas également les couples de points, en coordonnées logarithmiques sont homoscedastiques (Figure 6 & 7).

Les équations obtenues sont respectivement :

$$\text{en automne: } R = 0,076H_{30}^2$$

$$\text{au printemps : } R = 0,084H_{30}^2$$

Manifestement la liaison est plus forte entre R et H_{30} qu'entre R et H. Les dispersions autour de la loi ajustée sont bien plus faibles que pour les couples de points (H,R). Dans l'intervalle compris entre le quantile 90%, et la courbe enveloppe, l'érosivité en fonction de H_{30} , varie dans un rapport de 1 à 1,6 à l'automne et dans un rapport de 1 à 2,1 au printemps.

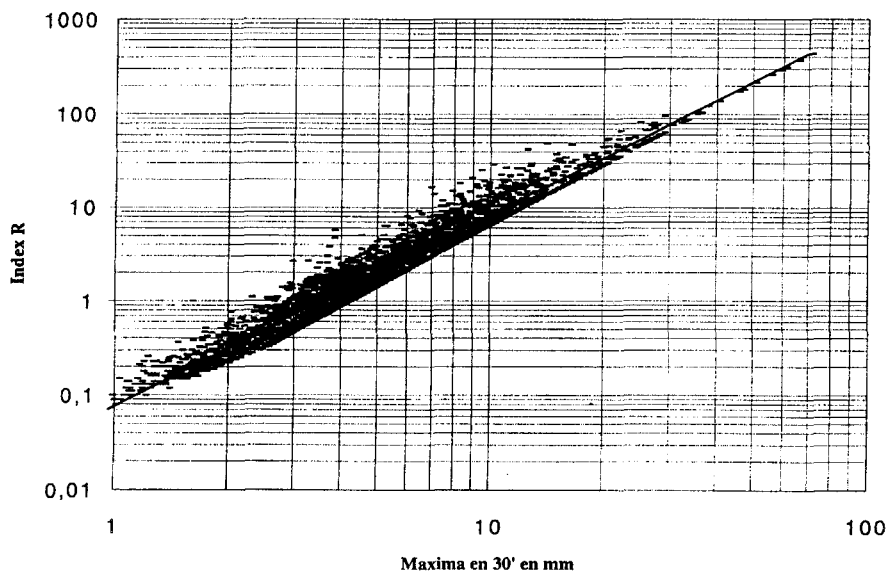


Figure 6 : Distribution hauteur de pluie en 30'-index d'érosivité d'automne

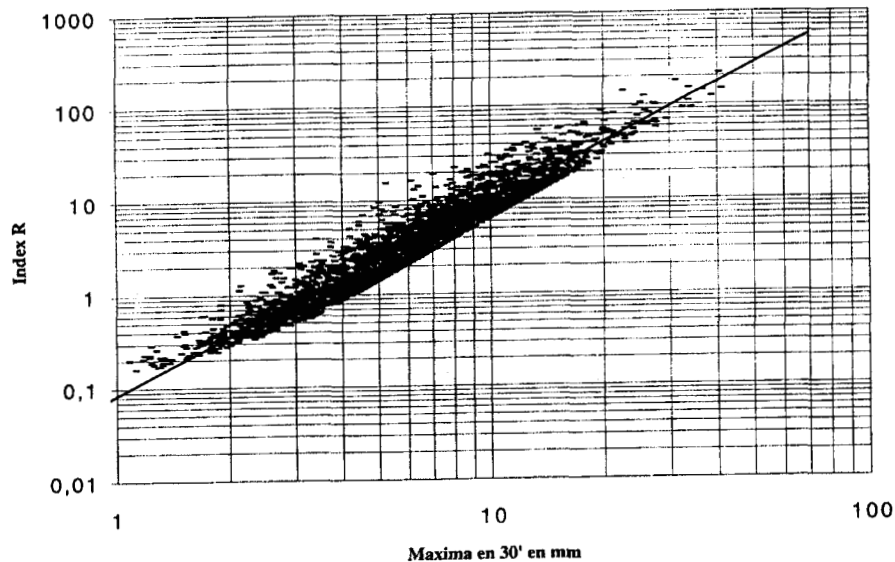


Figure 7 : Distribution hauteur de pluie-index d'érosivité de printemps

Donc avec un risque d'erreur égal à 10%, on peut estimer, l'érosivité en fonction de l'intensité maximale, plus précisément qu'avec les hauteurs d'épisodes, surtout pour l'automne. En effet, au printemps la valeur estimée de R peut doubler, avec le poids de l'énergie de l'épisode en question, par contre pour l'automne, dans 90% des cas le poids de l'énergie contribuerait au maximum à 60% de plus sur la valeur de l'érosivité estimée à partir de H_{30} .

Ceci s'explique par le fait qu'au printemps les hauteurs d'eau des épisodes pluvieux sont plus importantes qu'à l'automne, par contre les intensités d'automne dépassent celles du printemps.

Mais, même si la liaison est forte entre l'index des pluies et les maxima saisonniers en 30', la régression parabolique ne lisse pas suffisamment les points expérimentaux pour pouvoir être retenue comme un modèle simple de calcul de l'érosivité.

3 - Distribution conditionnelle des énergies en fonction des hauteurs d'eau

Nous venons de voir que sans être déterminante, l'énergie des pluies peut avoir un rôle non négligeable pour certains épisodes d'automne mais surtout de printemps. Nous avons par conséquent représenté sur graphique (Figures 8 & 9) les couples de points (H, Ec). On observe une liaison forte entre Ec et H ($r = 0,98$ à l'automne, $r = 0,98$ au printemps). Les points se distribuent à peu près linéairement, avec une dispersion plus forte pour les fortes valeurs de H, et pour le printemps. L'équation de la régression linéaire est :

en automne : $Ec = 23,8 H$

au printemps : $Ec = 22,0 H$

Dans ce cas les distributions ne sont pas homoscedastiques, la courbe enveloppe et la courbe isoquantilique 1%, s'écartent au fur et à mesure que H augmente.

Même s'il semble possible, comme l'ont fait plusieurs auteurs cités par (E. ROOSE : 1977) de déterminer l'énergie cinétique des pluies par un calcul plus simple à partir "d'excellentes régressions linéaires entre l'énergie cinétique des pluies et leur hauteur", les risques d'erreurs ne paraissent pas tout à fait négligeables, et se multiplient avec l'abondance de l'épisode. Donc nous retiendrons la même conclusion que pour la relation précédente entre R et H_{30} , à savoir qu'il ne convient d'utiliser l'équation de régression qu'à titre indicatif, car elle a tendance à trop lisser la variabilité de Ec en fonction de H.

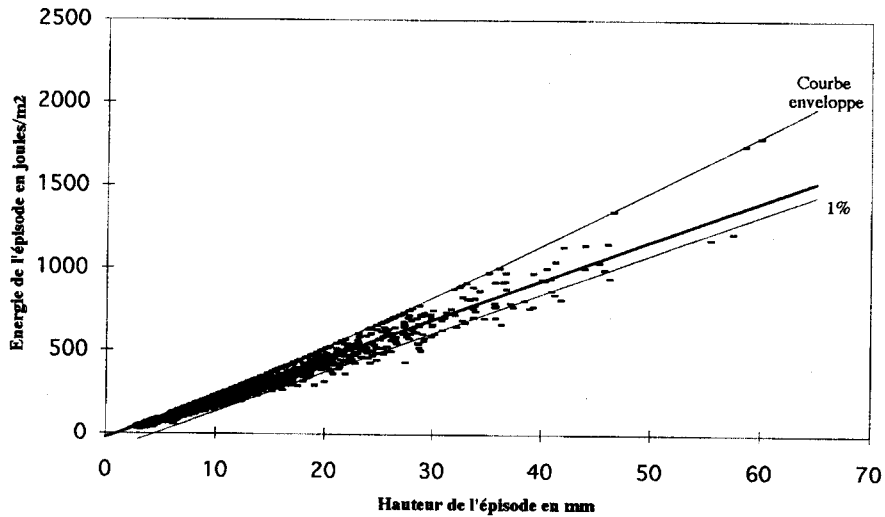


Figure 8: Distribution des énergies en fonction des hauteurs d'eau à l'automne

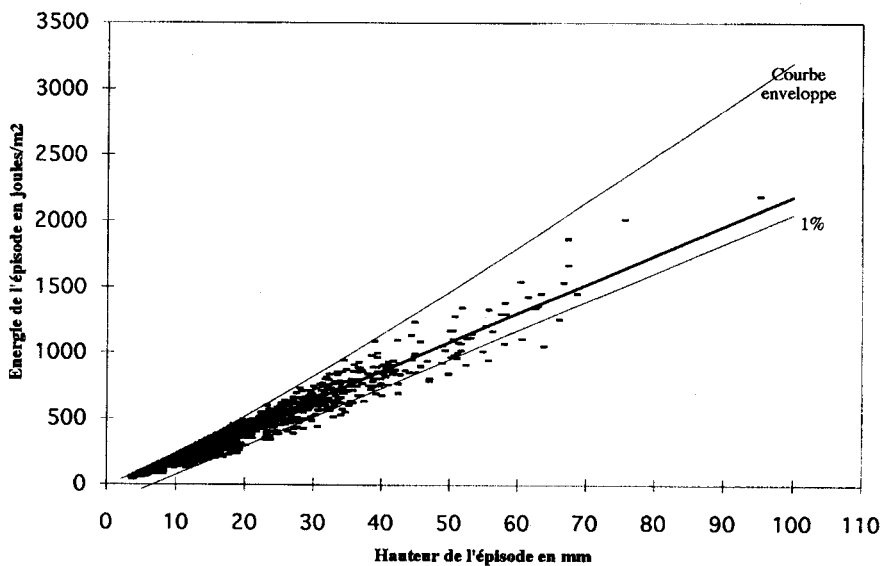


Figure 9 : Distribution des énergies en fonction des hauteurs d'eau au printemps

4 - Distribution conditionnelle de l'index des pluies à partir d'une régression double sur H et H₃₀

La recherche de régressions simples par les différents auteurs cités auparavant sont dues au fait que le calcul de l'énergie des pluies est fastidieux, et les données pluviographiques ne sont pas toujours disponibles.

Nous avons recherché à notre tour, toujours dans l'esprit de simplifier les calculs, une autre manière de déterminer l'index d'un épisode pluvieux, lorsque l'on connaît son intensité maximale en 30' et son volume d'eau.

On obtient par régression double les relations suivantes (Tableau 3):

Tableau 3 : Équations de régression

	Automne	Printemps
Équation	$R = 0,044.H_{30}^{1,33} \cdot H^{0,87}$	$R = 0,044.H_{30}^{1,29} \cdot H^{0,89}$
R ² (multiple)	0,999	0,999
r ² ZX _y (partiel)	0,992	0,994
r ² Zy _x (partiel)	0,982	0,992

Dans les deux cas les coefficients de corrélations multiples se sont avérés très voisins de 1, et les coefficients de corrélation partielle sont significativement élevés. Ces régressions doubles semblent donc suffisamment forte pour être opérationnelle. On observera que pour l'automne H_{30} a un poids légèrement supérieur par rapport au printemps. Mais la différence est minime, et dans les deux cas l'intensité en 30' reste la variable explicative de premier ordre de l'érosivité des pluies.

Nous avons par conséquent regroupé deux chroniques saisonnières (de 500 ans), pour faire une seule annuelle, et nous avons obtenu la formulation suivante :

$$R = 0,044.H_{30}^{1,31} . H^{0,88}$$

On peut supposer que les paramètres de calage de la régression multiple sont assez stationnaires géographiquement. Même si l'érosivité des pluies n'est certainement pas identique en tout point géographique de la Tunisie semi-aride, il y a de fortes chances qu'elle soit peu différente, en particulier, les caractéristiques d'un comportement parabolique en fonction de l'intensité maximale ne doit certainement pas être remis en cause. Mais nous n'avons pas les moyens de le confirmer et nous éviterons toute généralisation hâtive. De toutes les manières, l'intérêt de calculer l'érosivité d'un épisode pluvieux est assez limité dans une optique d'aménagement car, contrairement aux crues de projet, l'érosivité d'un épisode de pluie ne permet pas directement le dimensionnement des ouvrages.

V - Conclusion

L'analyse statistique des observations a permis :

D'affirmer que la dynamique érosive en climat méditerranéen semi-aride est relativement proportionnelle aux pluies les plus extrêmes de l'année. En effet, étant donné la rareté relative des pluies et leur faible apport d'eau en général, on observe qu'un événement pluvieux important dans l'année peut occasionner le maximum de l'érosion. Ces pluies extrêmes s'observent pratiquement annuellement (à l'automne ou au printemps) et indépendamment de l'année climatique (sèche ou pluvieuse), elles sont en général intenses faiblement abondantes, mais fortement érosives.

En règle générale, les épisodes érosifs maxima annuels sont la cause de plus de 50% de l'érosion ; ce résultat est intéressant et permet d'envisager l'aménagement anti-érosif sous l'optique des événements érosifs extrêmes. Par contre ce sont les accumulations de ces événements extrêmes sur plusieurs années qui seraient dommageables pour l'infrastructure hydraulique (comblement progressif des retenues).

La recherche à partir de données simulées nous a permis :

D'affirmer que ce qui détermine le niveau de l'érosion en climat méditerranéen semi-aride ce sont les fortes intensités qui accompagnent les orages de printemps ou d'automne, beaucoup plus que les énergies qui se cumulent dans la durée et qui sont relativement faibles, voire négligeables, en cas d'orages. Ceci fait qu'en contradiction avec d'autres régions climatiques plus arrosées (tropicales, équatoriales, mousson etc...) le modèle de l'érosion en fonction des intensités n'est pas du type linéaire, mais parabolique. En effet nous avons trouvé que l'index des pluies est fortement corrélé à l'intensité en 30' élevée au carré. Cela signifie que bien qu'elles soient peu abondantes, les pluies orageuses de la Tunisie semi-aride ont un très fort pouvoir érosif, si ce n'est le plus extrême possible compte tenu des durées courtes des orages. Il faut comprendre par ce résultat que les lames érodées ont de faibles apports d'eau, par contre elles sont emportées durant un court laps de temps. On retient cette phrase de F.KASSAB (1979) qui illustre bien ce résultat : "Chaque année, dans quelques régions de la Tunisie, des orages d'une violence particulière peuvent déverser des trombes d'eau en quelques heures. Mais ces tranches volumineuses très localisées qui provoquent un ruissellement et une érosion intense ne confèrent pas un caractère humide à l'ensemble du climat".

Certaines intensités si elles se produisent seraient particulièrement désastreuses. A titre de comparaison, un orage qui produit 40 mm de pluie en 30' a théoriquement le même pouvoir érosif, que par exemple une pluie de mousson de 200 mm qui tomberait en 10 heures à intensité supposée constante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bourges, J & Bouzaiane, S. (1973) : Les crues exceptionnelles du 12/12/73, sur oued Zita. Direction Générale des Ressources en Eau. Note interne.
- Camus, H & Dumas, R. & Ben Younes, M. (1982) : Recherche en milieu méditerranéen semi-aride. Résultat des campagnes hydrologiques 1974-1977. Ministère de l'agriculture. Direction des Ressources en Eau et en Sol. 153 p.
- Camus, H & Dumas, R. & Ben Younes, M. (1987) : Recherche en milieu méditerranéen semi-aride. Résultat des campagnes hydrologiques 1977-1980. Ministère de l'agriculture. Direction des Ressources en Eau et en Sol. 198 p.

- Camus, H & Dumas, R. & Ben Younes, M. (1983) : Recherche en milieu méditerranéen semi-aride. Résultat des campagnes hydrologiques 1980-1982. Ministère de l'agriculture. Direction des Ressources en Eau et en Sol. 103 p.
- Camus, H & Dumas, R. & Ben Younes, M. (1988) : Recherche en milieu méditerranéen semi-aride. Résultat des campagnes hydrologiques 1982-1986. Ministère de l'agriculture. Direction des Ressources en Eau et en Sol. 175 p.
- Camus, H & Dumas, R. & Ben Younes, M. (1989) : Recherche en milieu méditerranéen semi-aride. Résultat des campagnes hydrologiques 1986-1987. Ministère de l'agriculture. Direction des Ressources en Eau et en Sol. 41 p.
- Camus, H & Dumas, R. & Ben Younes, M. (1990) : Recherche en milieu méditerranéen semi-aride. Résultat des campagnes hydrologiques 1987-1989. Ministère de l'agriculture. Direction des Ressources en Eau et en Sol. 31 p.
- Delhoume, J.P. (1985) : Étude en milieu méditerranéen semi-aride. Ruissellement et érosion en zone de piedmont de Tunisie centrale (Djebel Semmama). Résultats 1976 à 1981. Ministère de l'agriculture. Direction des sols. 153 p.
- Kassab, F. (1979) : Les très fortes pluies en Tunisie. Thèse 3ème cycle. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Tunis.
- Masson, J.M. (1971) : L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités de terre érodée à l'échelle du champ. Thèse Docteur-Ingénieur. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, CNRS n° AO 5445, 213 p.
- Roose, E. (1976) : Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale. Études sur petites parcelles expérimentales de sol. Revue de géographie physique et de géologie dynamique. Vol XVIII, fasc.4, pp 365-374.
- Roose, E. (1977) : Érosion et ruissellement en Afrique de l'ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. 108 p.
- Todorovic, P & Pyevjevich, V. (1969) : Stochastic process of precipitation. Hydrologie papers n° 35. Colorado States University, Fort Collins.
- Wischmeier, W.H. (1959) : A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Sc. Soc. Amer. Proc., 23, pp246-249.
- Zahar, Y (1994) : Modélisation spatiale et temporelle des précipitations extrêmes et érosives en Tunisie centrale, en vue de l'aménagement des petits bassins hydrologiques. Thèse de Doctorat. Université de Nice-Sophia Antipolis. 416 pages.

IMPACT DES TECHNIQUES ANTI-EROSIVES SUR LE TRANSPORT SOLIDE, LA FERTILITE DU SOL ET LA PRODUCTION AGRICOLE DANS LES REGIONS DU SEMI-ARIDE TUNISIEN

KAABIA Mohsen
INRAT - Laboratoire d'Agronomie
Rue Hédi Karray, 2080 Ariana, Tunisie

RESUME

L'un des objectifs prioritaires de la Tunisie est d'assurer la sécurité alimentaire, l'augmentation de la production agricole contribuera à la croissance économique par une réduction des importations et un excédent des exportations. En effet, les recherches en matière de CES jouent un rôle important dans la protection des terres agricoles, la reconstitution de la fertilité de la terre, l'amélioration de la productivité agricole et le maintien des populations rurales sur leur terre.

Les régions agricoles en pente appartenant à la frange du semi-aride de la Tunisie sont gravement confrontées à tous les aspects de l'érosion hydrique. Un intérêt particulier doit être accordé à ces régions afin de réduire l'érosion hydrique et d'améliorer la production agricole.

Vu l'inadaptation des techniques culturales aux conditions écologiques des régions du semi-aride et vu la surexploitation des réserves végétales par l'homme et l'animal, ces terres sont soumises à une dégradation accélérée par l'érosion hydrique affectant les propriétés physico-chimiques du sol et diminuant les superficies des terres agricoles. Ceci engendrera une diminution des rendements et du revenu des agriculteurs.

Des travaux de recherche ont été réalisés durant ces dernières années en matière de conservation des eaux et du sol dans les régions semi-arides du nord-ouest (Le Kef, Kasserine, Béja et Siliana). Ces travaux consistent à étudier l'effet des techniques anti-érosives (assolement, travail du sol, ados et cordons en pierres sèches) sur les pertes en terre, le ruissellement, la fertilité du sol et la production agricole. Les expérimentations ont été réalisées sur les terres agricoles en pente qui abritent des petites et moyennes exploitations soumises à une érosion hydrique très intense.

Un dispositif de collecte de sédiments érodés et de ruissellement a été conçu pour permettre d'estimer et de comparer les quantités de sédiments érodés et des eaux ruisselées sur les différents traitements préconisés.

Une estimation comparative des sédiments érodés et des eaux ruisselées a été effectuée sur les différentes techniques anti-érosives étudiées. Une analyse physico-chimique comparative (granulométrie, éléments minéraux, matière organique et % de saturation) de la terre érodée et de la terre de la parcelle a été réalisée.

Ces travaux de recherche ont pour objectif d'adopter un système de culture approprié pour les agriculteurs de la région garantissant une perte minimale de terre afin d'assurer la viabilité de l'exploitation agricole.

Mots clés : érosion hydrique ; transport solide ; ruissellement ; fertilité du sol ; production agricole.

SUMMARY

Food security in Tunisia is considered among the priorities in tunisian agriculture. The increase in agricultural production leads to economic development as a result of a reduction in imports and a rise in exports. In fact the research conducted in soil and water conservation has been important for agricultural land protection, restoration of soil fertility, improvement of agricultural productivity and maintaining rural populations on their land.

Agricultural areas in slope which belong to the semi-arid region in Tunisia are severely confronted to all types of water erosion, the reason to grant more interest to these areas to improve their crop production.

Because cultural techniques are not well adapted to ecological conditions in the semi-arid and because plant resources are overexploited by men and animals, these lands are characterised by a severe degradation caused by water erosion. As a result, physical and chemical properties of soil are affected causing a decrease in yields and in farmers income.

Research works have been conducted in the past years in the field of soil and water conservation in the semi-arid regions of the north west of Tunisia (Le Kef, Kasserine, Béja and Siliana). They considered mainly of studying effect of soil conservation techniques (rotations, tillage, small terraces and stony terraces) on soil loss,

runoff, soil fertility and agricultural production. Experimentation has been conducted on lands having slopes and sheltering small and medium farms exposed to an intensive water erosion.

A field design for collecting eroded soil and runoff has been conceived to measure and compare soil loss and runoff for different preconised treatments.

A comparative estimation of eroded soil and runoff has been completed on different soil conservation techniques. Also a comparative physical and chemical analysis has been realised for the eroded soil and the soil of the plot.

The objective of this work is to adopt an appropriate and integrated agricultural system for farmers in these areas in order to ensure a reducing in soil loss for farm land viability.

INTRODUCTION

L'érosion est un processus rapide alors que la reconstitution des sols par l'altération des roches est très lente. Cette lenteur dans la régénération des sols est considérable dans les régions arides de telle sorte que tout ce qui est érodé l'est à jamais

L'érosion hydrique est l'un des plus grands problèmes pour l'agriculture tunisienne; la Tunisie perd chaque année plus que 10.000 ha de terres agricoles (Ministère de l'Agriculture, 1993). L'érosion diminue les ressources du sol exigées pour une production végétale acceptable; cette production se trouve menacée lorsque le taux de l'érosion dépasse le taux de formation de sol. Ceci s'applique aux zones du semi-aride de la région du pays.

Les régions montagneuses du nord ouest et appartenant à la frange du semi-aride sont à vocation agricole basée essentiellement sur la céréaliculture et l'élevage. Les terres agricoles de ces régions sont soumises à une dégradation accélérée par l'érosion hydrique affectant les propriétés physico-chimiques du sol et diminuant les superficies des terres agricoles. Ceci engendrera une diminution des rendements et du revenu des agriculteurs. Cette situation est une conséquence directe de l'inadaptation des systèmes de culture aux conditions écologiques des régions du semi aride ainsi que la surexploitation des réserves végétales par l'homme et l'animal. Un intérêt particulier doit être accordé à ces régions afin de réduire l'érosion hydrique et d'améliorer la production agricole.

Des travaux de recherche ont été réalisés par l'INRAT durant la dernière décennie en matière de conservation des eaux et du sol dans les régions semi-arides du nord ouest (le Kef, Béja, Siliana et Kasserine). Ces travaux consistent à étudier l'effet des techniques anti-érosives (rotation, travail du sol et ados) sur le transport solide, le ruissellement, la fertilité du sol et la production agricole. Les expérimentations ont été réalisées sur les terres agricoles en pente qui abritent des petites et moyennes exploitations soumises à une érosion hydrique très intense.

Des analyses statistiques réalisées aux Etats Unis ont pu dégager les rapports pouvant exister entre les pertes en terre et les facteurs qui interviennent directement dans le processus de l'érosion hydrique. Ces facteurs sont traduits par l'équation universelle des pertes de sol (WISHMEIR et SMITH, 1978).

$$A = R.K.L.S.C.P.$$

A = Estimation annuelle des pertes en terre (tonnes/unité de surface).

R = Indice de pluie.

K = Coefficient d'érodibilité du sol.

L S= Longueur et degré de pente.

C = Pratiques culturales .

P = Indice caractérisant l'efficacité des techniques anti-érosives mises en oeuvre.

Cette équation permet d'estimer les pertes de terre et également de déterminer les pratiques culturales et d'aménagement C.E.S. appropriées afin de ne pas dépasser le taux de tolérance de l'érosion sur un type de sol bien défini. (C) et (P) constituent les principaux facteurs sur lesquels l'homme peut agir afin d'améliorer les pratiques culturales par des rotations adéquates et par l'adoption de techniques anti-érosives appropriées.

Matériels et Méthodes

Sites de recherche

Les travaux de recherche conduits par l'INRAT durant ces dernières années, ont été réalisés sur quatre sites.

1. Le Kef (Sidi Rabeh)

Une exploitation située à Sidi Rabah, au sud de Sakiet Sidi Youssef dans la région du Kef a été choisie comme site expérimental. Ce travail de recherche a été entrepris dans le cadre du projet de recherche sur les systèmes de production (F.S.R.) et s'est déroulé durant les campagnes 85-86 et 86-87 (Kaabia, 1987). La zone d'étude se trouve dans la frange du semi-aride inférieur, la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 350 mm, les terres agricoles sont situées sur des pentes assez fortes ce qui accélère le phénomène d'érosion. Ces terres sont peu profondes et 63 % des terres agricoles de la région de Sidi Rabah ont une profondeur inférieure à 30 cm (Mhiri, 1986). La texture du sol est limoneuse à argileuse, la pente moyenne est de 6%. Le protocole expérimental comporte 3 traitements avec 3 répétitions.

- Couvert végétal blé (variété INRAT 69).
- Couvert végétal orge (variété Martin).
- Couvert végétal jachère pâturée.

2. Béja (Goubellat)

Le site d'expérimentation présente des terres moyennement dégradées avec une pente de 11 % et une pluviométrie très variable avec une moyenne annuelle de 445 mm sur 50 années (Khaldi et al, 1986). La texture du sol est équilibrée (32,5% argile, 20 % limon, 47,5% sable).

L'expérimentation a porté sur une étude comparative du transport solide et du ruissellement sur différentes cultures en rotations biennales.

Les traitements sont les suivants :

- Blé dur - jachère traditionnelle (B-Jt)
- Blé dur - médicago annuelle (B-M)
- Blé dur - Jachère en courbes de niveau (B-Jcn)
- Orge à double fin - Jachère traditionnelle (O-Jt)
- Orge à double fin - médicago-annuelle (O-M)
- Orge à double fin - Jachère en courbes de niveau (O-Jcn)

Le travail de recherche s'est déroulé durant trois campagnes agricoles (87- 88 à 89-90) (Kaabia, 1994).

3. Siliana (Massouj)

Le site expérimental est marqué par un relief accidenté, les pentes sont assez fortes, elles varient de 5 à 13%. Dans cette zone les terres ayant une pente supérieure à 5% sont très fréquentes et représentent environ 65% des terres agricoles. La pluviométrie est très irrégulière avec une moyenne annuelle de 460 mm. Les précipitations sont caractérisées par leur agressivité. Le sol est de texture argilo-limoneuse. Ce travail de recherche a porté sur l'effet des techniques douces anti-érosives sur la production céréalière. Cette expérimentation a été réalisée en collaboration avec l'INRAT, la Direction de la CES et le CRDA de Siliana. La région est à vocation céréalière et appartient à l'étage bioclimatique du semi-aride. Elle est fortement affectée par l'érosion hydrique. L'objectif de ce travail est de rechercher les techniques anti-érosives les plus performantes et les mieux adaptées à la culture des céréales. Le dispositif expérimental comporte trois traitements avec trois répétitions.

- Le labour dans le sens de la pente (LSP)
- Le labour en courbes de niveau (LCN)
- Le labour en courbes de niveau + ados consolidés par la luzerne arborescente (LCNA)

Ces trois traitements sont implantés sur 2 classes de pentes différentes (4 à 8 %) et (8 à 13 %) dans un assolement biennal blé-jachère soit un total de 36 parcelles. Ce travail a été mené durant 4 campagnes agricoles de 89-90 à 92-93 (Kaabia et al, 1992).

4. Kasserine (Thala)

Les terres agricoles de Thala sont affectées par une forte activité érosive en nappe avec apparition de fréquentes griffes accompagnées de ravins au niveau des axes de nivellement. Un travail de recherche a été mené en collaboration avec l'INRAT, l'ORSTOM et le CRDA de Kasserine qui vise à étudier l'effet des techniques culturales appropriées aux terres cultivées en céréales sur le processus de l'érosion, le ruissellement, l'évolution de la fertilité du sol et la production agricole. Le site expérimental choisi est constitué d'un couple de micro-bassins versants dont les superficies sont respectivement de 6 ha et de 8 ha. Durant la campagne agricole 93-94, une étude comparative de deux micro-bassins cultivés en orge de manière différenciée dans l'application des itinéraires techniques. La zone d'étude se trouve dans la frange du semi aride, la pluviométrie a été faible durant la campagne 93-94 (232 mm). Le sol est peu profond et à charge caillouteuse élevée. Il présente une texture sablo-limoneuse, la pente moyenne est de 7% . La pluviométrie est enregistrée à l'aide du pluviographe (Camus et al., 1994).

Les dispositifs de collecte de sédiments et de ruissellement utilisés dans les sites expérimentaux ne permettent pas d'estimer quantitativement l'érosion dans les régions étudiées mais ils peuvent fournir des mesures comparatives de l'impact de l'érosion hydrique sur les différents traitements étudiés et donner une idée globale de l'effet de l'érosion hydrique sur les terres agricoles.

Deux types de dispositifs de collecte de sédiments érodés et de ruissellement ont été utilisés:

- Sur le site de Kasserine (Thala), un dispositif fabriqué en béton a servi pour les mesures de transport solide et de ruissellement. Il comporte un canal d'amenée, des répartiteurs et une fosse à sédiments avec des bacs à décantation. Ce dispositif a été installé par l'équipe de l'ORSTOM et les responsables du projet FIDA à Thala (Camus et al, 1993).

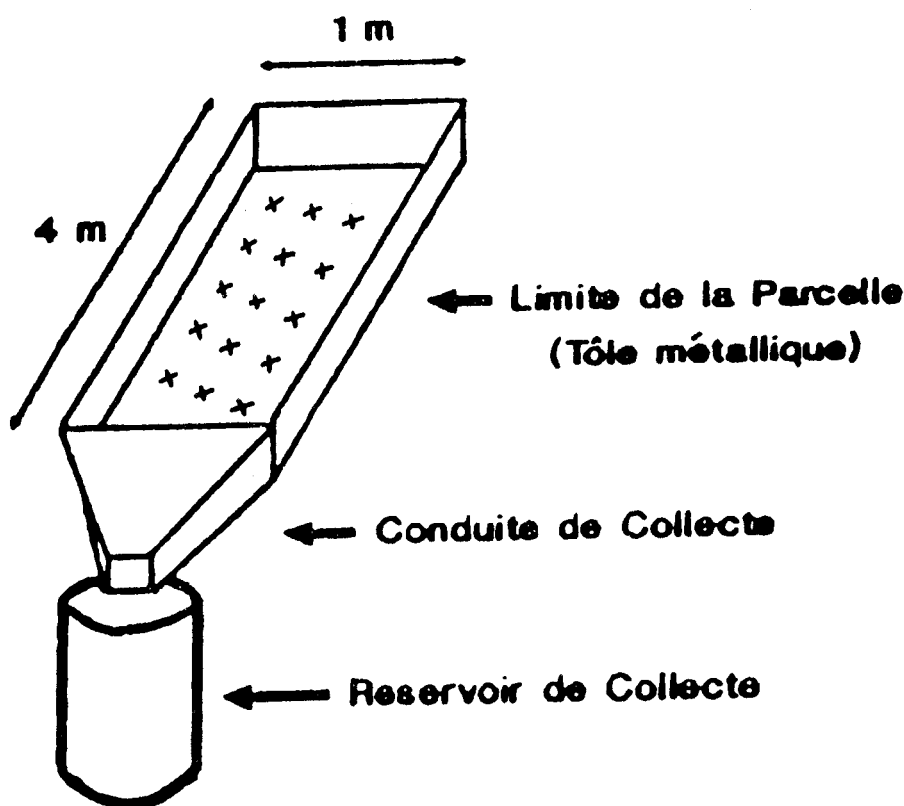


Figure 1 : Dispositif métallique d'érosion

- Sur les sites d'expérimentation de Sidi Rabeh, Goubellat et Siliana, un dispositif métallique de 4 m x 1 m qui a été conçu et a servi pour la mesure des pertes en terres et du ruissellement. Ce dispositif est facilement démontable et transportable quel que soit l'endroit. Il est composé de tôles enfoncées dans le sol laissant apparaître 10 cm à la surface afin d'éviter toute pénétration d'eau et de sédiment à l'intérieur de la parcelle. Ce dispositif comporte une conduite de collecte pour rassembler et conduire l'eau ruisselée ainsi que les sédiments érodés au réservoir de collecte. Le bord de la plaque inférieure de la conduite de collecte a été rabattu vers le sol pour éviter toute perte d'eau et de sédiments (Figure 1).

Ces dispositifs métalliques ont été implantés à l'amont et à l'aval des parcelles expérimentales. Ceci nous permettra d'avoir des mesures à l'amont et à l'aval qui sont nécessaires pour les terres en pente. Les quantités de terres érodées sont récupérées dans le réservoir de collecte, ces échantillons sont transportés au laboratoire dans des boîtes en plastiques, ils sont filtrés, séchés et puis soumis au pesage de la quantité de terre érodée. Le ruissellement sera mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée. Les analyses chimiques et granulométriques des terres érodées ont été effectuées au laboratoire par les méthodes suivantes:

- Le carbone organique (%M.O.), par la méthode à froid de Walkley and Black.
- L'analyse de granulométrie, par la méthode densimétriques (Bouyoucos).
- L'azote total, par la méthode Kjeldahl.
- Le phosphore assimilable, par la méthode d'Olsen.
- Le Potassium échangeable, au photomètre à flamme.

Les pertes en terre et le ruissellement sont mesurés sur les différents traitements étudiés pour la période allant du semis à la récolte.

Les différents traitements ont été comparés entre eux quant au ruissellement et à leur effet sur les pertes en terre provoquées par l'érosion hydrique. Les données pluviométriques ont été enregistrées à l'aide d'un pluviomètre installé sur les sites d'expérimentation.

Résultats et Discussion

Toutes les pluies ne provoquent pas nécessairement de ruissellement ni de transport solide. En outre le déclenchement de l'érosion hydrique dépend de la nature du sol, de son humidité, de l'intensité de la pluie et de la densité du couvert végétal.

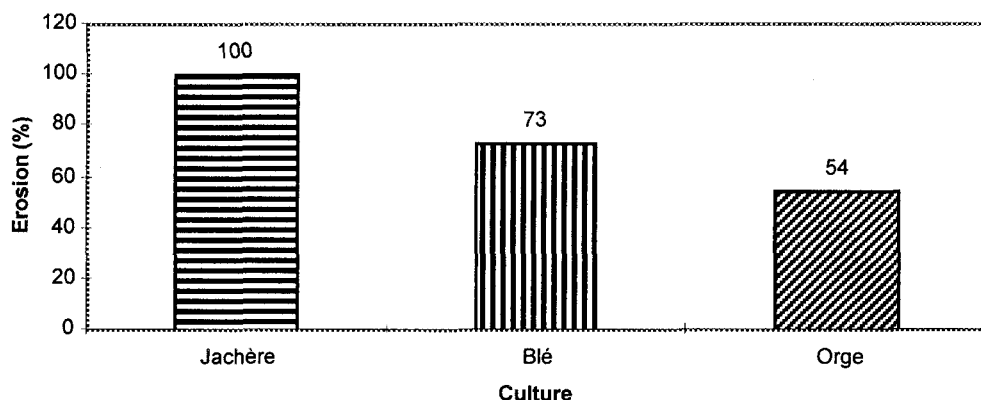


Figure 2: Pertes en terre sous différentes cultures le Kef (Sidi Rabah)

Les pertes en terre et le ruissellement sont mesurés sur les différents traitements étudiés pour la période allant du semis à la moisson, depuis l'installation du dispositif métallique jusqu'à son enlèvement. Pour le cas de Sidi-Rabah le semis a été effectué en décembre et la moisson en mai. Les pertes en terre sous différentes occupations du sol ont été évaluées durant les 2 campagnes agricoles 85-86 et 86-87 (Fig 2). Un taux de 100% a été attribué à la jachère paturée qui présente le taux d'érosion le plus élevé afin de comparer les différents couverts végétaux entre eux. Le même principe de comparaison des cultures a été appliqué aux autres types de figures.

La figure 2 montre que le couvert végétal de la jachère pâturée présente le taux d'érosion le plus élevé par rapport à ceux de l'orge (variété Martin) et du blé (variété INRAT 69). L'augmentation du transport solide relatif à la jachère est de 46 % par rapport à l'orge et de 27 % par rapport au blé pour la période allant de décembre à mai. La jachère étant toujours soumise à un pâturage intense vu le manque de stock fourrager dans la région étudiée ce qui explique son taux d'érosion élevé.

On peut noter également que la couverture végétale de l'orge présente un taux d'érosion moins élevé que celui du blé de 20 %. Ceci montre l'importance du couvert végétal qui permet d'intercepter les gouttes de pluies et de dissiper leur énergie cinétique et qui réduit par conséquent "l'érosion splash". En outre, le couvert végétal contribue au ralentissement de la vitesse de ruissellement pour une meilleure infiltration et une meilleure rétention des sédiments (Power et al, 1981).

Ces résultats nous permettent de conclure que l'orge se développe mieux que le blé dans les régions du semi aride du fait de son pouvoir de tallage important et de sa tolérance à la sécheresse par rapport au blé.

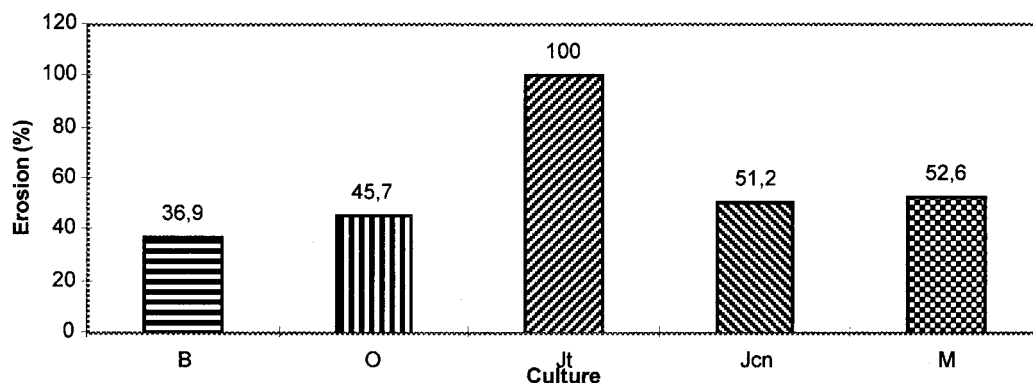


Figure 3 : Pertes en terre sous différentes cultures (Béja: Goubellat).

L'analyse statistique réalisée en adoptant un modèle linéaire et la méthode des carrés a montré une différence significative au seuil de 5 % entre la jachère traditionnelle et le reste des couverts végétaux étudiés (Figure 3). La figure 3 montre que l'orge à double fin présente un taux d'érosion plus élevé que celui du blé quoique les résultats obtenus sur l'orge (Martin) à Sidi Rabah (région du Kef) présentent un taux d'érosion inférieur de 20 % à celui du blé (Kaabia, 1987). En effet, l'orge possède un pouvoir de tallage important et une meilleure tolérance à la sécheresse et est considérée comme une culture non érosive par rapport au blé.

Les résultats obtenus ci-dessus s'expliquent par le fait que l'orge à double vocation (Tej) est pâturée au printemps par les animaux, ceci engendre une réduction du couvert végétal d'une part et un remaniement de la couche superficielle du sol provoquée par le piétinement des animaux d'autre part. Le sol tassé devient ainsi plus vulnérable à l'érosion hydrique. D'après la figure 3, la jachère en courbes de niveau présente un taux d'érosion nettement inférieur à celui de la jachère traditionnelle étant donné que le labour a été pratiqué perpendiculairement à la pente, ce qui permet une réduction du ruissellement et du transport solide, assure une meilleure infiltration et par conséquent une meilleure couverture du sol par la végétation spontanée.

Médicago, considérée pourtant comme une culture couvrante et conservatrice, ne semble pas montrer un développement important selon la figure 3. En effet, les pertes en terre enregistrées pour Médicago sont supérieures à celles du blé et pratiquement comparables à celles de l'orge et de la jachère en courbes de niveau. Ceci peut s'expliquer par le fait que les variétés de Médicago utilisées ne semblent pas être adaptées aux conditions pluviométriques des 3 campagnes considérées. L'amélioration génétique des écotypes locaux pourrait donner des variétés mieux adaptées assurant ainsi un meilleur couvert végétal.

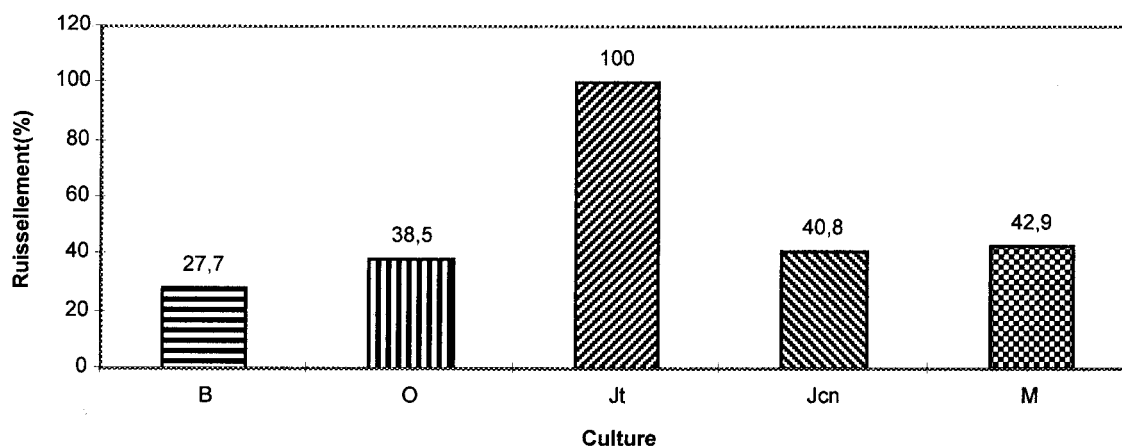


Figure 4 : Ruissellement sous différentes cultures (Béja- Goubellat)

Le taux de ruissellement montre une différence significative ($p < 0.05$) entre la jachère traditionnelle et les autres couverts végétaux. D'autre part, Médicago, l'orge et la jachère en courbes de niveau présentent des taux de ruissellement comparables. Enfin le blé a enregistré le taux de ruissellement le plus faible (Figure 4). En

comparant les figures 3 et 4, nous pouvons affirmer qu'il y a une proportionnalité entre le coefficient de ruissellement et les quantités de perte en terre.

Dans la région étudiée, les agriculteurs continuent à maintenir la jachère essentiellement pour des raisons économiques. En effet, la jachère est utilisée comme parcours pour les animaux ou louée comme parcours à d'autres éleveurs de la région "Achaba". Par ailleurs, l'élevage a toujours occupé une place de choix dans l'économie de l'exploitation puisqu'il a été noté que 30 % de la superficie agricole utile était réservée à la jachère et que 80 % des agriculteurs pratiquaient l'élevage ovin (Khaldi et al, 1990).

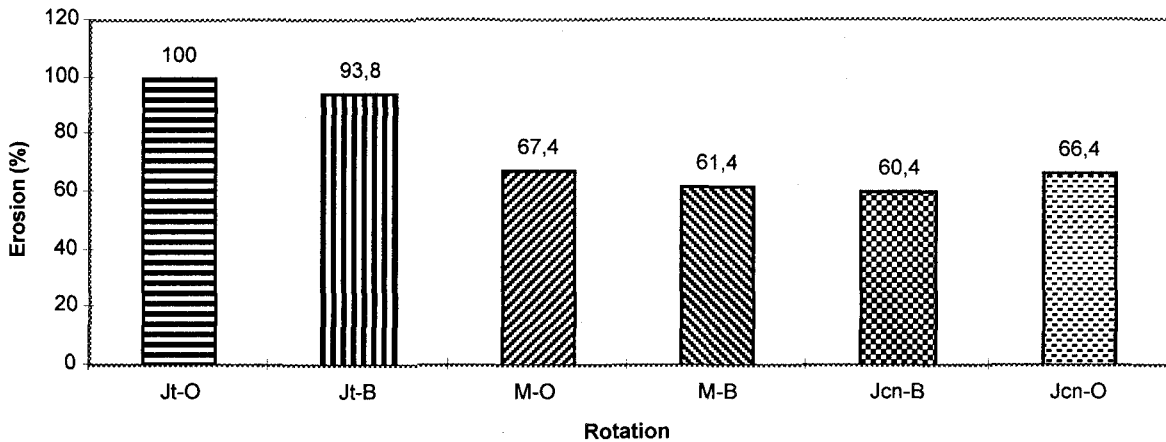


Figure 5 : Pertes en terre sous différentes rotations biennales (Goubellat)

Dans les zones étudiées, le système de production des exploitations associe étroitement les cultures à l'élevage; les céréales constituent la culture dominante et sont cultivées la plupart du temps dans une rotation définie selon les besoins de l'exploitant. Ceci a permis de dégager d'une part les moyennes des pertes en terre et le ruissellement dans les différents types de rotation durant les 3 années de l'expérimentation et d'autre part les rotations qui préservent mieux les ressources naturelles sur les terres agricoles en pente (Figure 5 et 6).

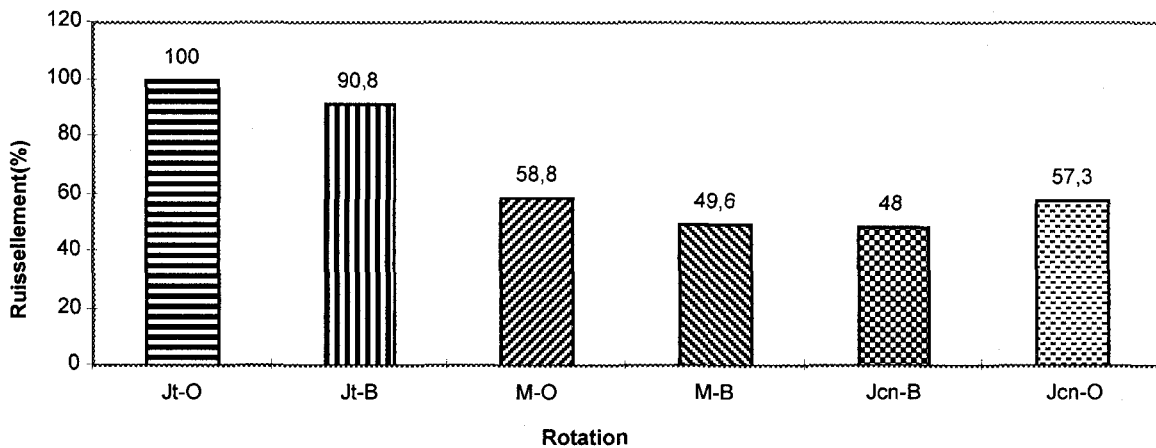


Figure 6 : Ruissellement sous différentes rotations biennales (Goubellat)

Ces figures montrent que les rotations céréales - jachère traditionnelle présentent les quantités de perte en terre et de ruissellement les plus élevées par rapport aux rotations céréales - Médicago et céréales - jachère en courbes de niveau. A titre d'exemple, les rotations jachère en courbes de niveau - blé et Médicago - blé présentent un transport solide nettement plus faible que la rotation "jachère traditionnelle - orge" avec 40% et 39% respectivement.

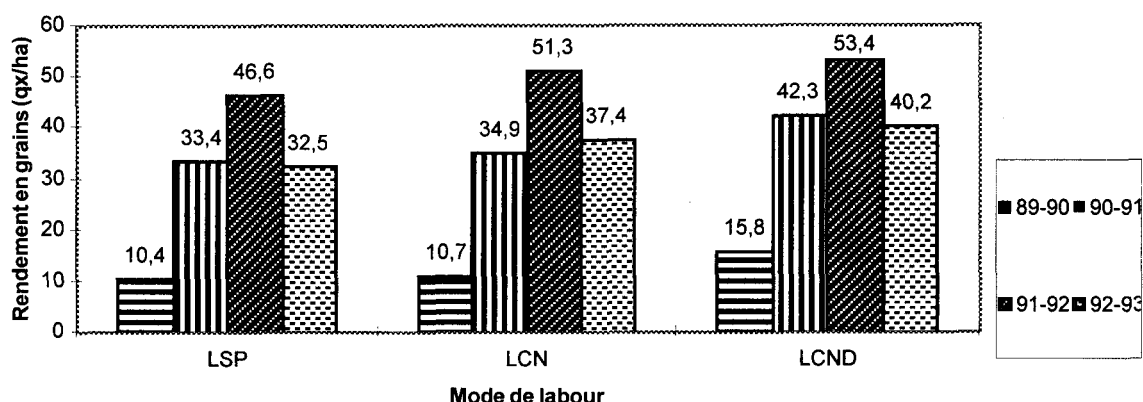


Figure 7 : Effet du mode de labour sur le rendement du blé (Siliana)

LSP = Labour dans le sens de la pente

LCN = Labour en courbes de niveau

LCND = Labour dans le sens de la pente +ados

Le rendement potentiel du blé a été évalué sur des échantillons de plantes prélevés dans 10 emplacements de 0,25m² par parcelle élémentaire.

La figure 7 montre que la moyenne des rendements du blé en grains pour les 4 campagnes agricoles a enregistré une augmentation de 24% sur les ados consolidés par rapport au labour dans le sens de la pente. Cette augmentation peut atteindre 50%. A titre d'exemple le rendement de la campagne (89-90) est passé de 10,4 q/ha sur le labour dans le sens de la pente à 15,8 q/ha sur les ados consolidés.

L'analyse de la matière organique des éléments minéraux, de la granulométrie et du pourcentage de saturation a été réalisé sur plusieurs échantillons de terre érodée. Ces échantillons sont collectés à l'aide des dispositifs d'érosion (métallique et bétonné). Des échantillons de sol de la parcelle ont été prélevés à une profondeur de 15 cm à l'aide d'une tarière.

Tableau 1: Analyse comparative de la matière organique et des éléments minéraux du sol de la parcelle et de la terre érodée (Goubellat)

	Matière organique %	Azote minéral NH ₄ ⁺ et NO ₃ ⁻ ppm	Phosphore assimilable ppm	Potassium meq/100g
Terre de la parcelle	1,50	13,891	0,506	15,148
Terre érodée	9,60	65,954	0,785	40,480

D'après le tableau 1 le taux de matière organique est passé de 1,5% sur la terre de la parcelle à 9,6% sur la terre érodée. La terre transportée par l'érosion est devenue ainsi 6 fois plus riche en matière organique que le sol de la parcelle. La M.O. est la matière la plus légère et par conséquent la première à être transportée en grande quantité par le ruissellement. D'après ce tableau, l'azote minéral, le phosphore assimilable et le potassium exprimés en ppm, sont également perdus en grande quantité. L'érosion hydrique peut dénaturer le sol en découpant l'horizon le plus fertile et en transportant les éléments minéraux (NPK) et la matière organique nécessaire au développement de la plante dont l'un des rôles est de stocker l'eau dans le sol.

Il en découle que les quantités d'éléments minéraux et de matière organique perdues sont plus importantes sur la jachère traditionnelle ainsi que sur la rotation orge - jachère étudiés dans la région de Goubellat (Béja).

Tableau 2: Analyse comparative de la texture du sol de la parcelle et de la terre érodée (Goubellat)

Granulométrie	Argile%	Limon%	Sable%
Terre de la parcelle	32,5	20,0	47,5
Terre érodée	48,0	15,0	37,0

Le tableau 2 montre que la terre érodée est plus riche en argile que le sol en place; l'argile qui est l'élément le plus fin est le premier à être transporté en grande quantité. La proportion d'argile est passée de 32,5% sur le sol en place à 48,0% sur la terre érodée. Par contre, les proportions de limon et de sable ont largement diminué sur la terre érodée, ce qui explique l'effet sélectif de l'érosion hydrique. On peut conclure que l'argile est plus facilement déplacée par l'érosion hydrique tandis que le limon et le sable sont entraînés plus lentement. Ce processus mènera à long terme à une terre stérile et inculte.

Tableau 3: Analyse comparative de la matière organique et du pourcentage de saturation du sol de la parcelle et de la terre érodée (Thala).

sous-bassins versant	Sol de la parcelle		Terre érodée	
	Chefai 1	Chefai 2	Chefai 1	Chefai 2
% de Matière Organique	2,36	2,04	4,33	3,53
% de Saturation	46,66	46,66	68,13	63,92

Ce tableau montre que le taux de matière organique est passé de 2,3% sur la terre de la parcelle à 4,33% sur la terre érodée du sous bassin versant de Chefai 1. La terre transportée est devenue presque 2 fois plus riche en matière organique que le sol de la parcelle. Le pourcentage de saturation, qui représente la quantité d'eau que peut retenir le sol est largement plus élevé sur la terre érodée que sur le sol de la parcelle, ce taux est passé de 46,66% à 68,13% (Chefai 1). Ceci montre une diminution de la capacité de rétention de l'eau par la terre en place. Il en résulte une diminution de l'infiltration et une augmentation du ruissellement et de l'érosion à court et à long termes.

D'après le tableau 3, nous constatons qu'il y a une étroite corrélation entre le pourcentage de matière organique et le pourcentage de saturation. En effet, plus le taux de matière organique est élevé plus le pourcentage de saturation augmente. Ceci mène à conclure que plus la matière organique est transportée en grandes quantités par l'érosion hydrique, plus la capacité de rétention de l'eau du sol en place diminue.

Conclusion:

Dans les régions du semi-aride, la jachère est soumise à une pression animale continue. Cette jachère pâturée est exposée davantage à l'érosion et au transport d'éléments minéraux, de matière organique et d'argile. Ceci affectera d'une façon irréversible les propriétés physico-chimiques du sol. La totalité de la couche arable disparaîtra à long terme faisant apparaître la roche mère non utilisable pour les cultures.

- L'orge en grains s'est montrée une culture moins érosive que le blé dans la zone du semi- aride; cette culture semble assurer une meilleure protection du sol que les couverts végétaux étudiés et constitue ainsi une culture mieux adaptée aux conditions de la zone d'étude.

- Les résultats obtenus montrent clairement que les types de cultures, de rotations ou de techniques anti-érosives peuvent avoir une forte influence sur la maîtrise de l'érosion, du ruissellement et des pertes en éléments fins et légers (éléments minéraux, argile et matière organique).

- Les rendements en grains du blé travaillé en courbes de niveau + ados consolidés par la luzerne arborescente sont plus élevés par rapport aux parcelles travaillées dans le sens de la pente et celles travaillées en courbes de niveau.

- Les éléments minéraux NPK, la matière organique et l'argile sont transportés en quantités importantes par l'érosion hydrique.

- L'augmentation du pourcentage de saturation sur les sédiments érodés engendrera à long terme une diminution de la capacité de rétention du sol en place.

- L'adoption de techniques conservatrices appropriées (rotation, travail du sol et ados consolidés) dans ces régions du semi-aride peut assurer une gestion rationnelle des terres et garantir la viabilité de l'exploitation agricole. Ces techniques contribueront à la protection de l'environnement et à la conservation du patrimoine sol et eau.

- Ces résultats peuvent être d'une grande importance pour la stratégie future du concept de la conservation de l'eau et du sol dans les exploitations agricoles en pente.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Camus H. et al. , 1933. Ruissellement et érosion sur le haut-Mellègue (Micro-bassins expérimentaux de Chafaï: Thala), 37 p.
- Camus H.; Kaabia M.; Talineau J.C., 1994. Ruissellement, érosion et système de culture sur micro-bassins versants du haut-Mellègue, 21 p.
- Kaabia M., 1987. Evaluation comparative de l'effet de l'érosion hydrique sur quelques couverts végétaux dans la région de Sidi Rebah, le Kef (Tunisie). Atelier sur les systèmes de production dans le semi-aride du Nord-Ouest de la Tunisie. Tunis: 1-2 juillet 1987, 11 p.
- Kaabia et al., 1992. Impact des techniques douces anti-érosives sur la production céréalière dans le semi-aride tunisien: cas de la région de Siliana. 9èmes Journées du Réseau Erosion, Poitiers, France: 4-6 novembre 1992, 32 p.
- Kaabia M., 1994. Effets de quelques systèmes de culture sur l'érosion hydrique, le ruissellement et la fertilité du sol dans le semi-aride tunisien. Annales de l'INRAT, 67 (1,2), p 133-147.
- Khaldi R. et al., 1986. Etude des systèmes de production dans une zone du semi-aride tunisien (Goubellat) 1983-1985. Annales de l'INRAT, Vol. 59, Fasc. 2, 122 p.
- Khaldi R. et al., 1990. Projet de recherche sur les systèmes de production. Goubellat, Tunisie. Rapport 1983-1989.
- Mhiri A. et al., 1986. Rapport de synthèse des travaux de l'équipe "Milieu et Aménagement" dans la région du Kef (Tunisie). Projet de recherche sur les systèmes de production, Le Kef et Siliana.
- Ministère de l'Agriculture, 1993. Rapport sur la stratégie nationale de la conservation des eaux et du sol.
- Power J.F. et al., 1981. Effects of topsoil and subsoil thickness on soil water content and crop production on a disturbed soil. Soil Sci. Am. J., 45: 124-129.
- Wischmeier W.H.; Smith D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: Guide to conservation planning. US Department of Agriculture. Agriculture Handbook N°537, 58 p.

IMPACT DU DRAINAGE ET DES PRECIPITATIONS SUR LA SALURE D'UN SOL OASIEN

Rachid Boukchina¹ et Adel Saïed²

¹ Institut des Régions Arides, Direction Régionale de Gabès

² Arrondissement des Sols, CRDA de Gabès

RESUME

Durant des décennies, l'exploitation agricole de l'Oasis de Gabès (Sud-Est de la Tunisie) s'est effectuée sans dégrader la qualité du sol. Les modes de gestion du sol et de l'irrigation pratiqués par les agriculteurs assuraient le maintien de l'équilibre entre la productivité agricole et la salure des sols. Actuellement cette oasis s'expose aux dangers de l'hydromorphie et de la salinisation secondaire en raison particulièrement du manque du drainage.

A cet effet, des essais ont été menés pour montrer l'importance du drainage dans le dessalage d'un sol oasien à texture grossière. Les résultats présentés se rapportent à la comparaison du profil salin de deux sous-parcelles drainées et une non drainée. Bien que le déroulement de ces essais ait coïncidé avec une année très pluvieuse, le taux de réduction de la salinité du sol, traduit par la variation de la CE moyenne, met en relief l'importance du drainage pour lutter contre la salinisation secondaire.

Mots clés: drainage, hydromorphie, irrigation, oasis, salinisation secondaire

SUMMARY :

One of the most serious problems facing the sustainable development of Gabes oasis is the increase of the soil salinity. Great emphasis has been deployed by the CRDA of Gabes to control this problem, however soil salinity remains high. Drainage deficiency and the use of poor water quality in irrigation appear to be among the main origins of the problem. This study was designed to determine the effectiveness of rainfall and drainage water management in salt flushing for the soil profile (0-100 cm). Experiments were conducted on sandy loam soils under fluctuating shallow saline water table. Soil electric conductivity (EC) and salt composition change from and undrained plot and two rainfed plots (12 m and 30 m drain spacing) were monitored. For each plot initial soil salinity was determined in September 1995 and after receiving a total rainfall of 494 mm the soil salinity was again measured. This paper presents preliminary results on EC and ion concentration changes as influenced by drainage management and rainfall. For all plots data showed a significant soil EC change after the rainy season. Results showed significant soil EC reduction between the undrained plot and the drained plots. Results also showed that the tested drain spacing is not a significant factor in soil EC changes. It is concluded that the oasis drainage network maintenance should be considered as periodically measures to maximize salt flushing from soil profile in rainy years.

Keywords : drainage water management, hydromorphy, irrigation, oasis, soil salinity.

INTRODUCTION

Créée, au début de ce siècle, autour des sources pérennes et sur une surface d'environ 1200 ha, l'Oasis de Gabès constituait un espace agricole très particulier. Cette oasis littorale fournissait la quasi-totalité des besoins de la région en cultures maraîchères, fourragères, industrielles et arboricoles. Durant des décennies, l'exploitation agricole de cet espace s'est effectuait sans dégrader la qualité du sol. En effet, le surplus d'artésianisme disponible ainsi que les modes de gestion du sol et de l'irrigation pratiqués assuraient le maintien de l'équilibre entre la productivité agricole et la salure des sols.

Les mutations socio-économiques qu'a connues la région de Gabès durant les années soixante-dix ont conduit progressivement au tarissement des sources qui alimentaient son oasis. Le manque d'eau pour l'irrigation a été parmi les causes de la dégradation des formes de vie agricole dans l'oasis dont la manifestation la plus évidente est l'abandon de certaines parcelles. Dans le cadre du projet "Sauvegarde des anciennes Oasis du Sud", les efforts déployés par l'État, au cours des années quatre vingt, pour sauvegarder l'Oasis de Gabès, ont permis une meilleure gestion de l'eau en limitant les pertes d'eau et en réduisant le déficit hydrique de l'oasis. Toutefois, ces interventions s'avèrent aujourd'hui insuffisantes à elles seules pour garantir la pérennité de ce milieu; l'Oasis de Gabès présente d'autres problèmes d'ordre technique (gestion de l'irrigation à la parcelle, drainage déficient), environnemental (hydromorphie, salinisation secondaire, ensablement, réduction de la diversité biologique), socio-économique (abandon, morcellement et taille des propriétés, rentabilité économique des spéculations) qui doivent être appréhendés afin d'établir une stratégie de sauvegarde durable de ce patrimoine naturel.

De plus en plus préoccupants sont les problèmes d'hydromorphie et de salinisation secondaire dans l'Oasis de Gabès (Mtimet et Hachicha, 1995; Saïed, 1995). Le suivi de la salinité et du niveau piézométrique de la nappe et de la salinité des sols, effectué par l'Arrondissement des Sols du Commissariat Régional au Développement

Agricole (CRDA) de Gabès, confirme que ces problèmes ne cessent de prendre de l'ampleur particulièrement dans les parcelles délaissées et où le drainage est insuffisant.

Sous un climat aride ou semi-aride, la lutte préventive contre la salinisation secondaire des terres irriguées met en jeu la qualité de l'eau d'irrigation, la technicité des agriculteurs et surtout le drainage (Roades, 1974). Bien qu'en Tunisie, plusieurs travaux de recherche aient abordé les problèmes associés à la gestion des terres irriguées à l'eau chargée (CREUSI, 1970; Bahri, 1992; Job, 1993; Ben Mechlia et al., 1995), dans les conditions des oasis littorales, à l'exception des travaux de Pouget (1964) et d'Albrecht (1985), il n'existe pas suffisamment d'informations à ce sujet. L'incidence des techniques agricoles et d'aménagement sur les bilans hydrique et salin dans ces oasis doit être appréciée par le biais des expérimentations en vue d'identifier les meilleures pratiques culturales avant d'aboutir à une modélisation mathématique prévisionnelle. Cette note a pour objet de comparer l'évolution du profil salin de deux sous-parcelles drainées et une non drainée au cours d'une année très pluvieuse.

Matériel et méthode

1-La parcelle expérimentale

Les essais de suivi de l'évolution de la salure dans l'Oasis de Gabès ont été conduits sur une parcelle expérimentale localisée dans le secteur Nord-Est de l'oasis (Chot-Sidi Abdessalem) et située à environ 300 m de la mer (Figure 1). Cette parcelle se trouve dans une zone délaissée de l'oasis où la présence d'une mince couche blanchâtre de sel à la surface du sol et la prolifération des plantes halophytes (ficoïdes, *zygophyllum album*, etc...) indiquent les conditions de mauvais drainage et de salure élevée (Novikoff, 1964).

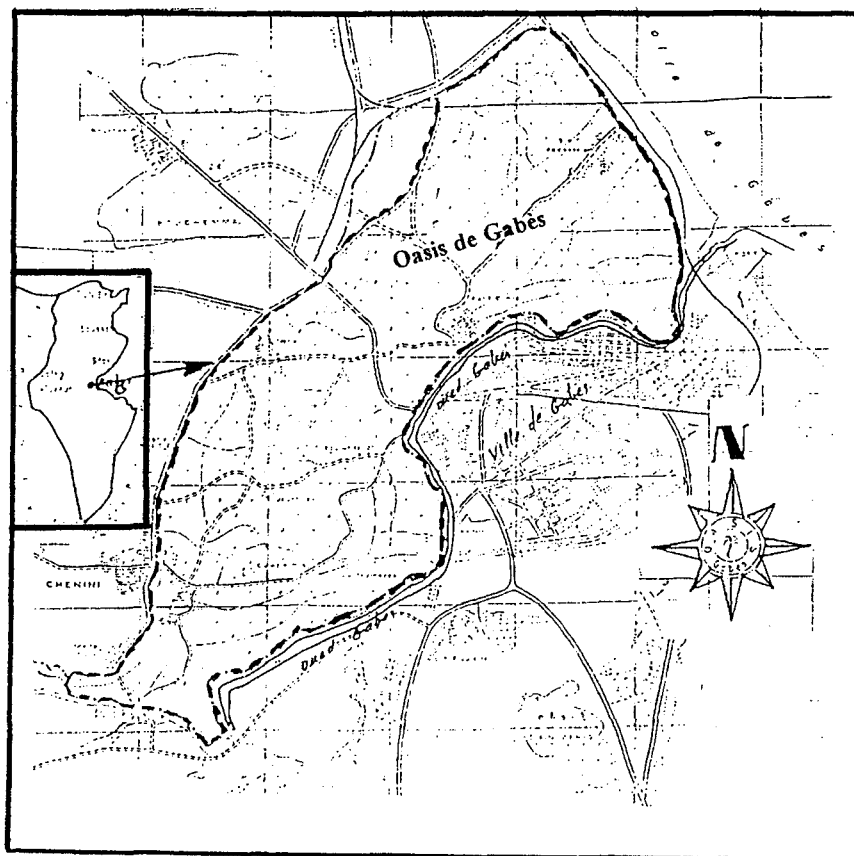


Figure 1: Localisation de l'Oasis de Gabès.

1.1 Les sols

Les sols de la parcelle expérimentale sont des sols peu évolués, d'apport fluvial à hydromorphie de nappe en profondeur (Pouget, 1964). Ces sols présentent un premier horizon (0-40 cm) riche en sable fin (70-80%), un second horizon (40-80 cm) à texture sablo-limoneuse à limono-sableuse et un horizon (80-120 cm) limono-sableux à encroûtement gypseux composé de sable fin et de microcristaux de gypse. La conductivité hydraulique de ces sols, déterminée selon la méthode de trou à la tarière, est de 0,8 m/j et la densité apparente est de 1,2 à 1,6 g/cm³. Ces sols sont marqués par un taux élevé de gypse (16 à 46%). La teneur moyenne en calcaire total est faible (9,7%) dont 5,3 est sous forme de calcaire actif. Pour ces horizons, la structure du sol est massive, lâche et peu différenciée.

1.2 Le climat

Etant donné sa situation géographique, l'Oasis de Gabès est une oasis littorale bénéficiant de la proximité de la mer. La saison sèche de ce climat peut atteindre 10 mois. La pluviométrie moyenne inter-annuelle est de 185 mm et la température moyenne annuelle est de 19 °C. L'évapotranspiration potentielle sous ce climat est estimée à 1359 mm/an (Riou). Selon la classification bioclimatique, l'Oasis de Gabès se situe sous un climat méditerranéen aride à étage bioclimatique inférieur caractérisé par un bilan hydrique fortement déficitaire (1174 mm/an).

1.3 Le réseau de drainage

La parcelle expérimentale est délimitée par un fossé collecteur situé à 1,5 m de profondeur. Ce collecteur permet l'évacuation des eaux de drainage et de ruissellement des parcelles environnantes (Figure 2). L'état initial de ce collecteur a nécessité un curage afin de faciliter l'écoulement de l'eau. Par ailleurs, dans le cadre de ce travail, la parcelle expérimentale a été subdivisée en trois sous-parcelles, appelées P1, P2 et P3, aménagées différemment (Figure 2). Les sous-parcelles P1 et P2 ont chacune une largeur de 30 m et délimitées, dans le sens de la longueur, par deux drains à ciel ouvert de 40 m de long. Ces drains perpendiculaires au fossé collecteur ont une profondeur allant de 1 à 1,30 m. La sous-parcelle P1 est équipée d'un réseau de drainage souterrain composé par trois drains remblayés par du gravier (30 cm) et jusqu'au niveau de labour par du sable fin. Ces drains sont des conduites en PVC perforé, de 10 cm de diamètre, espacées de 12 m l'une de l'autre et placées à une profondeur allant de 0,8 à 1,2 m. La sous-parcelle P3 joue le rôle de témoin. En Septembre 1995, les trois sous-parcelles ont été labourées afin d'homogénéiser la perméabilité du sol.

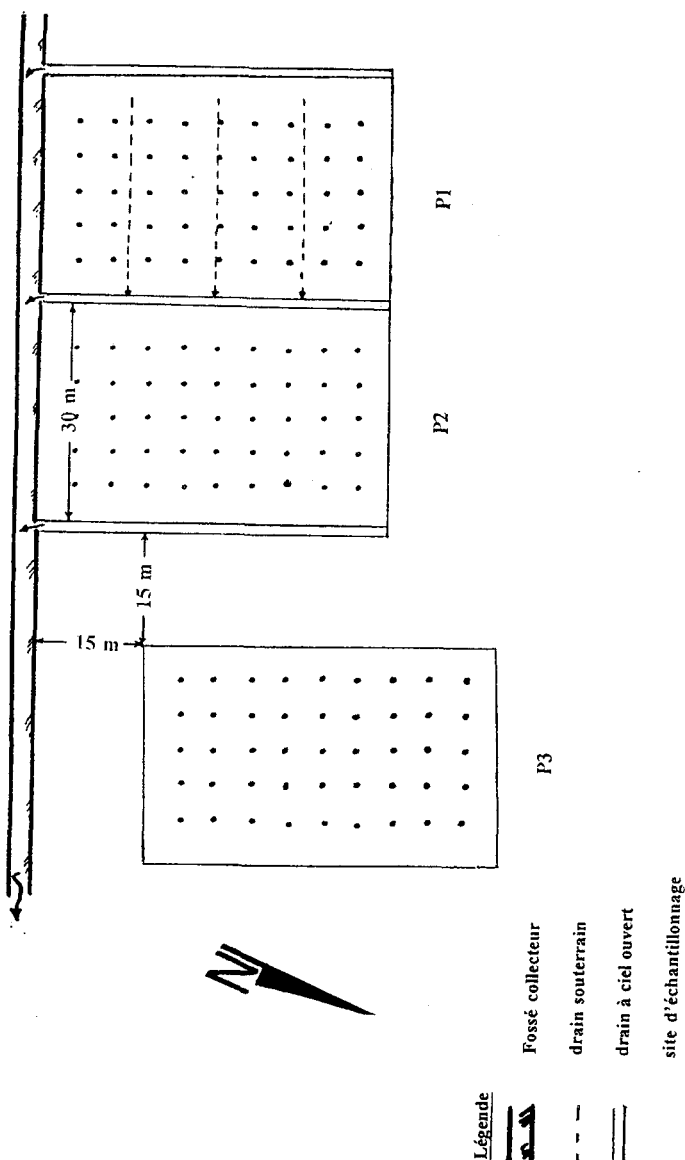


Figure 2: Plan de la parcelle expérimentale.

1.4 L'échantillonnage du sol

Après la mise en place du système de drainage, des échantillons de sol ont été prélevés par couche successive de 20 cm jusqu'à une profondeur de 120 cm en vue de caractériser la salure initiale de la parcelle expérimentale (Septembre 1995). L'échantillonnage a été effectué selon une grille à mailles carrées (5 m x 5 m). La figure 2 illustre les sites de prélèvement pour chaque sous-parcelle. Au début du mois d'Avril 1996, d'autres échantillons de sol ont été prélevés aux mêmes endroits.

Les analyses physico-chimiques de ces échantillons ont été effectuées par l'Arrondissement des Sols de Gabès selon les méthodes standardisées (Naanaa et Susini, 1988). Elles consistent à déterminer la conductivité électrique de pâte saturée (CE), le chlore (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), le sodium (Na^+), le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{++}).

Résultats et discussion

Précipitations et fonctionnement du réseau de drainage

Les précipitations mensuelles enregistrées à la station météorologique de l'aéroport de Gabès (située à environ 3 km à vol d'oiseau de la parcelle expérimentale) sont reportées dans le tableau I. Comparée à la moyenne inter-annuelle, l'année 95/96 est une année très pluvieuse. Pour la période des essais, entre le début de Septembre 95 et fin Mars 96, les précipitations enregistrées sont de 494,6 mm alors que la moyenne pour cette période de l'année est de 159,0 mm.

La plupart des événements pluvieux ont occasionné un écoulement dans le réseau de drainage (drains principal et secondaires). L'écoulement dans les drains commence quelques heures après le début des pluies et peut persister, à faible débit, pour quelques jours après la fin des pluies. Malheureusement, comme la parcelle expérimentale se trouve à l'aval de l'oasis, l'apport d'eau en provenance de l'extérieur de la parcelle a empêché la mesure du débit d'eau de drainage provenant uniquement de la parcelle expérimentale en vue de quantifier les exportations en sels.

Salure initiale du sol

Le tableau II présente les valeurs moyennes de la CE moyenne ainsi que la composition chimique moyenne de l'extrait de pâte saturée des échantillons prélevés au mois de Septembre 95. Les mesures montrent que pour les trois sous-parcelles, la CE atteint les valeurs les plus élevées du profil salin dans les premiers vingt centimètres (32,5 à 38,4 mS/cm). Elle varie de 25,6 à 31,2 mS/cm dans la couche de 20 à 40 cm et atteint les valeurs les plus faibles du profil salin dans la couche 40 à 80 cm (16,0 à 18,9 mS/cm). Au niveau de la zone saturée, en dessous de 80 cm, les CE mesurées varient de 20,6 à 25,1 mS/cm. L'analyse de la variance des valeurs moyennes de la CE de la couche 0-40 cm ne montre aucune différence significative entre les valeurs moyennes des CE mesurées pour les trois sous-parcelles ce qui signifie qu'à l'état initial, il n'y a pas de variation spatiale notable de la salinité à l'intérieur de la parcelle expérimentale. Quand à la composition chimique de l'extrait de saturation, les analyses révèlent la domination de l'ion chlorure (87,5 à 310,0 méq/l), suivi par l'ion sodium (61,8 à 246,4 méq/l), l'ion sulfate (81,4 à 188 méq/l), le magnésium (63,2 à 208,6 méq/l) enfin l'ion calcium (19,9 à 25,0 méq/l). Le faciès géochimique de la solution du sol est par conséquent chloruro-sodique. Etant donné la proximité de la parcelle expérimentale de la mer, ce faciès est sans doute inhérent à la remontée capillaire de l'eau souterraine qui enrichit, sous l'effet de l'évaporation, le sol par des sels d'origine marine (chlorure de sodium).

Evolution de la salure du sol

Le tableau II présente les valeurs moyennes de la CE moyenne et la composition chimique de l'extrait de pâte saturée des échantillons prélevés en mois d'Avril 96 après une pluie de 494,6. Les valeurs de la CE de pâte saturée indiquent une réduction notable de la teneur en sels totaux dissous du sol par rapport aux valeurs de départ. Cette réduction s'observe particulièrement dans les premiers quarante centimètres du sol où les valeurs les plus faibles de la CE (6,7 à 13,2 mS/cm) sont observées. L'analyse de la variance des valeurs moyennes de la CE de cette couche indique l'absence de différence significative entre les valeurs de la CE observées pour les sous-parcelles drainées (P1 et P2). Donc, pour les hauteurs de pluies enregistrées, les écartements de 30 et 12 m entre les drains n'ont pas apporté de différence sur la teneur en sels solubles. Concernant la sous-parcelle P3, bien que les mesures de la CE montrent aussi une réduction de la salure du sol, l'analyse de la variance des valeurs moyennes de la CE indique que celles de la sous-parcelle P3 sont significativement différentes de celles des sous-parcelles P1 et P2; même exceptionnellement abondantes, les eaux de pluie n'ont pas permis de dessaler le sol avec la même efficacité que dans les sous-parcelles drainées. Par ailleurs, la réduction de la teneur en sels s'observe aussi pour les profondeurs allant de 20 à 40 cm et 80 à 120 cm pour les trois sous-parcelles en affichant la même tendance mais avec des valeurs de CE plus élevées (Tableau II) par rapport à la couche précédente. Cependant, les résultats obtenus indiquent que pour la couche comprise entre 40 et 80 cm, la teneur en sels a tendance à augmenter après les pluies. Cette observation est en concordance avec celle faite par d'Albercht (1985) sur l'évolution de la salure d'un sol oasien lors des irrigations.

Quand à la composition chimique de l'extrait de saturation, les mesures effectuées révèlent, que pour les premiers vingt centimètres du sol, il y a eu une diminution importante de la teneur en Cl^- (87%) et Na^+ (89%) mais aussi en Mg^{2+} (68%), en SO_4^{2-} (58%) et en Ca^{2+} (15%) par rapport aux teneurs initiales de ces ions. La diminution de la teneur de ces ions s'observe aussi dans la couche de 20 à 40 cm mais avec des taux de réduction moins importants. La réduction de la teneur en sels solubles du sol a influencé la dominance des ions dans les premiers quarante centimètres du sol; le faciès géochimique de la solution du sol devient sulfato-magnésique ($\text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{++} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+$). Pour la couche de 40 à 80 cm, les mesures indiquent qu'il y a eu une augmentation de la teneur en Cl^- , en Na^+ , en Mg^{++} et en SO_4^{2-} et cette couche garde son faciès initial c'est-à-dire chloruré-sodique. Enfin, pour la couche 80 à 120 cm, les observations indiquent une évolution de la salure de façon comparable à celle observée pour la première couche (0-20) à l'exception d'une augmentation de la teneur en Na^+ et le faciès géochimique de cette couche reste chloruré-sodique.

L'ensemble de ces résultats indique que le dessalage d'un sol oasien à texture grossière est possible lors de la saison pluvieuse pourvu que le drainage soit adéquat. Si les précipitations enregistrées lors de ces essais sont favorables pour le dessalage du sol, l'insuffisance et l'irrégularité des pluies constituent un handicap devant un dessalage régulier des sols de l'Oasis de Gabès. Dans ce contexte climatique, un intérêt particulier doit être accordé pour développer une stratégie permettant de profiter au maximum des précipitations exceptionnelles, par exemple en y associant les irrigations pour dessaler le sol.

Conclusion

Dans l'Oasis de Gabès, l'insuffisance du drainage a conduit à l'hydromorphie et par conséquent à la salinisation secondaire ce qui entrave le développement durable de cet espace agricole particulier. Les essais menés ont coïncidé avec une année très pluvieuse et les résultats discutés se rapportent sur la comparaison du profil salin de deux parcelles drainées (P1 et P2) et une non drainée (P3). La comparaison des valeurs moyennes de la CE de l'extrait de saturation du sol avant et après les pluies (422 mm) indique une réduction notable de la teneur en sels totaux solubles dans le sol particulièrement dans les premiers quarante centimètres. Malgré la texture filtrante du sol, l'analyse de la variance des valeurs moyennes de la CE de la couche de labour (0-40) indique l'existence de différence significative entre les valeurs moyennes de la CE mesurée dans les sous-parcelles drainées par rapport au témoin. Ce résultat met en relief l'importance du drainage pour faciliter le dessalage du sol. Lors de nos essais, deux écartements entre les drains (30 et 12 m) ont été expérimentés. L'analyse de la variance des valeurs moyennes de la CE montre que ces écartements n'ont pas apporté de différence sur le dessalage du sol. Il semble que l'abondance des pluies durant la période d'étude ait atténué l'effet de l'écartement entre les drains sur la mobilité des ions. Enfin, étant donné l'importance de l'Oasis de Gabès sur le plan agricole, touristique et écologique, un intérêt particulier doit être accordé aux actions de recherche en matière de maîtrise des bilans hydrique et salin en vue de préserver les ressources pédologiques de cette oasis contre la salinisation secondaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Albrecht, I. (1985). Relation eau-sol (Oasis de Gabès). Rapport de stage. CRDA de Gabès, Arrondissement des Sols. 34 pages + annexes
- Bahri, A. (1992). Impacts d'un épandage de boues résiduaires urbaines sur le fonctionnement hydraulique d'un réseau de drainage et sur la qualité des eaux de drainage. *Science du Sol*, Vol. 30 (2) pp. 57-74
- Ben Mechlia, N., H. Ben Hassine, A. El Hamrouni et A. Hamdy (1995). Résultats d'essais d'irrigations alternées: eau Medjerda/eau salée. Dans: *On farm sustainable use of saline water in irrigation: Mediterranean experiences*. Hamdy, A. (éd). Atelier de travail. Hammamet Tunisie du 5 au 8 Octobre 1995
- Cointepas, J-P. (1968). Résultats d'une étude de l'évolution de la salure du sol dans le Sud Tunisien. E.S. N° 67 Division des Sols
- CREUSI-Tunisie/PNUD. 1970. Recherche et formation en matière d'irrigation avec les eaux salées. 1962-1969. Rapport technique. TUN. 5, Paris, 256 pages + annexes
- Saïed, A. (1995). Evolution de la salinité dans les oasis de Gabès. Séminaire sur la salinisation des sols et la gestion des eaux dans les oasis. *Sols de Tunisie* N° 16, pp 109-112
- Job, J. O. (1993). Les sols salés de l'oasis d'El Guettar. Résumé de Thèse : Réhabilitation des sols arides. E.S. 268, Ministère de l'Agriculture, Direction des Sols, 36 pages
- Mtimet, A. et M. Hachicha (1995). Salinisation et hydromorphie dans les oasis tunisiennes. *Sécheresse*, vol. 6(4) pp 319-324
- Naanaa, W. et J. Susini (1988). Méthodes d'analyse physique et chimique des sols. Ministère de l'Agriculture, Direction des Sols, 118 pages
- Novikoff, G. (1964). Etude agronomique de quelques palmeraies du Sud Tunisien. E. S. N°26, Division des Sols
- Pouget (1964) Etude pédologique des oasis de Gabès. Bulletin de la Sous-Direction HER. Section de pédologie N° 274 (1), 65 pages

Roades, J. D. (1974). Drainage for salinity control. dans: Drainage for Agriculture. Schilfgaard J. V. (éd). American Society of Agronomy, Inc. Series Agronomy (17) pp 433-461

ANNEXES

Tableau I. Précipitations mensuelles (mm)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Moyenne	17,1	35,0	28,6	19,7	19,9	18,1	20,6	14,6	8,1	1,5	0,4	0,8	184
Enregistrée	149,4	155,7	4,3	81,0	41,9	40,2	22,1	10,6	11,6	5,0	0,1	0,2	522

Tableau II: Composition chimique de l'extrait de saturation du sol en méq/l (Septembre 95).

		CE (mS/cm)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
0-20	P1	38,4 a*	285,1	148,8	246,4	152,1	20,7
	P2	32,5 a	310,0	101,7	210,1	166,3	21,8
	P3	33,8 a	287,2	188,5	213,2	208,6	19,9
20-40	P1	25,6 b	163,3	115,7	151,2	137,6	22,3
	P2	31,2 b	187,5	113,8	180,0	120,5	21,1
	P3	27,5 b	188,2	124,6	142,7	143,4	25,0
40-80	P1	16,0	102,3	97,3	78,3	86,6	23,2
	P2	18,9	87,5	83,7	61,8	76,5	21,5
	P3	17,6	98,6	81,4	74,5	63,2	21,5
80-120	P1	25,1	183,2	131,3	81,3	98,6	20,1
	P2	24,8	147,5	113,5	91,8	103,2	20,8
	P3	20,6	163,8	112,0	110,7	112,7	22,2

*Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau de 5%

Tableau III: Composition chimique de l'extrait de saturation du sol en méq/l (Avril 96).

		CE (mS/cm)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
0-20	P1	6,7 a*	36,6 (87%)	61,2 (59%)	26,1 (89%)	48,9 (68%)	18,6
	P2	7,6 a	41,0 (86%)	74,8 (26%)	36,7 (82%)	55,5 (67%)	19,0
	P3	13,2 b	60,3 (79%)	78,9 (58%)	39,4 (81%)	82,8 (60%)	18,2
20-40	P1	9,4 c	41,4 (75%)	85,6 (26%)	47,4 (67%)	64,1 (53%)	17,2
	P2	11,3 c d	55,0 (71)	92,2 (19%)	67,5 (63%)	68,5 (43%)	18,0
	P3	15,2 d	88,3 (53%)	104,3 (45%)	83,8 (41%)	82,7 (42%)	18,2
40-80	P1	19,7	128,5	99,1	112,8	86,0	17,3
	P2	21,4	133,1	102,4	107,7	106,1	18,0
	P3	20,7	133,3	104,8	118,0	94,3	18,3
80-120	P1	19,2	56,6	87,6	61,3	63,2	18,5
	P2	17,3	95,3	94,6	86,5	71,5	19,5
	P3	18,8	128,1	95,3	97,3	93,1	18,1

* Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau de 5%.

CONTRIBUTION A L'EVALUATION DES COMPOSANTES DU BILAN HYDRIQUE DANS UN SYSTEME OASIEN : CAS DE L'OASIS ELKASBA-GAFSA

Slimani M. S -Institut des Régions Arides

Mechergui .M- Institut National Agronomique de Tunis

RESUME

On présente ici, les résultats d'évaluation de l'évapotranspiration réelle de trois couverts végétaux au cours d'un suivi de l'irrigation pratiquée par l'agriculteur durant la période estivale sur sol argilo-sableux (sites de mesure de l'humidité) à l'oasis ELKASBA-Gafsa. Les couverts 1 et 2 sont constitués par deux étages de cultures (l'olivier et la luzerne ou le maïs). Le dernier est représenté par un seul étage (l'abricotier). L'humidité du sol est mesurée par un humidimètre à neutrons.

La méthode du bilan hydrique pose problème pour évaluer ETR des couverts sous conditions favorisant le drainage. Dans ce cas, l'estimation climatologique de l'évapotranspiration potentielle, couplée aux mesures du bilan hydrique dans le sol, permet d'estimer la composante drainage.

Le rapport entre l'évaporation à l'oasis et celle mesurée à la station météo (à proximité du périmètre) dans le même type de bac (classe A) est de 0.55. L'effet de l'oasis est estimé à 0.74. La corrélation entre l'évaporation dans le bac à l'oasis et ETP ou ETR des couverts, est très élevée..

Les volumes apportés par arrosage (doses pratiques) sont variables entre 0.6 et 0.80 de la réserve utile (R.U) en eau du sol sur les trois sites. La période d'arrosage est aussi très irrégulière.

Mots clés: couvert végétal, Réserve utile (R.U) en eau du sol, Evapotranspiration potentielle, Bilan hydrique du sol.

SUMMARY

Water balance under three plant covers was evaluated during the summer of 1994 in some orchards at E Kasba-Gafsa oasis by the use of neutron probe. Each one of both covers 1 and 2 is constituted by two crops (olive trees and alfalfa or maïs), the third one is represented by only apricot trees.

The soil balance method scatted problems of estimating evapotranspiration rests in the case of deep percolation (any rainfall in basin irrigation). In this case, climatological determination of potential evapotranspiration coupled with water balance measurements in the soil could be used to estimate drainage component.

The ratio between class A pan evaporation at the oasis and the meteorological sation (ncar to the perimeter), is 0.55.

The correlation between class A pan evaporation at the oasis and the real evapotranspiration of different covers is very high.

The watering volumes were varied between 0.60 and 0.80 of total water on all sites.

Key words : plant covers, total available water, potential evapotranspiration, soil water balance, class A pan evaporation.

INTRODUCTION

La région de Gafsa est une zone présaharienne [9]. Son climat est du type méditerranéen continental à hiver froid et à été chaud. Les pluies sont irrégulières, généralement orageuses (à l'automne) suivies par de longues périodes de sécheresse. La saison pluvieuse s'étale de Septembre à Mai et les mois les plus pluvieux vont d'octobre à mars [7].

Au niveau des périmètres irrigués, la demande est très accentuée sur les ressources hydriques qui sont fortement mobilisées. La consommation a connu une augmentation de 37 % dans les oasis de Gafsa (ElKasba, Ksar et sud ouest) et 4,3 % au niveau du gouvernorat [3]. La demande en évaporation est importante : 6 à 8 mn/j durant la période estivale. Le taux d'occupation est supérieur à 1,2.

La connaissance des composantes du bilan hydrique sous cultures en période d'été, avec respect absolu des choix de l'agriculteur (plan d'occupation, période et dose d'arrosage), s'avère primordiale pour une gestion plus rationnelle de l'eau dans les périmètres irrigués au sud. Le présent travail représente une contribution dans ce sens.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) d'un couvert végétal a été étudiée par plusieurs auteurs [5], [11], [12] par la méthode neutronique et tensiométrique et/ou celles de type microclimatologique [4].

On présente ici les résultats relatifs aux consommations en eau (ETR) de trois couverts végétaux irrigués, déterminées dans trois sites de mesure de l'humidité par humidimètre neutronique à l'oasis ELKASBA-Gafsa. La représentativité spatiale est admise à l'échelle de la parcelle. Par manque de données sur le gradient de charge hydraulique, les mesures du bilan hydrique sont couplées à l'estimation de l'évapotranspiration potentielle de référence (ET_0) obtenue par application de la formule de PENMAN sur les données de la station météo. Les évapotranspirations potentielles (ETP) des cultures sont obtenues après correction de ET_0 .

La corrélation entre l'évaporation dans un bac (classe A), à l'oasis et ETP des cultures ou ETR des couverts, est très élevée..

Matériel et méthodes:

L'étude est effectuée en période de pointe pendant quatre mois (31/5 - 4/10/1994). Suivant les types d'occupation les plus répandus, trois sous parcelles ont été choisies pour y installer les sites de mesures (figure 1). Sur les sous parcelles 1 et 2 (0.5 ha et 0.17 ha), le couvert végétal est constitué par deux étages principaux.: la luzerne et le maïs respectivement associés à l'olivier en pleine production âgé plus de 50 ans, d'une densité de 10 m avec quelques jeunes abricotiers (2 ans) en intercalaire. Le site 3 est localisé dans un verger d'abricotier très bien développé.(0.9 ha) sans étage inférieur.

Chacune de ces sous parcelles est aménagée en un nombre de bassins de dimensions variables (60 à 100 m \leq) et recevant l'eau à partir d'une rigole ou raie de distribution dérivant du réseau secondaire en séguias (rigoles) bétonnées ou en terre .La terminologie du bassin, considérée ici, est limitée à la surface aménagée et ayant un périmètre complètement fermé par une digue pour prévenir la sortie d'eau [13].

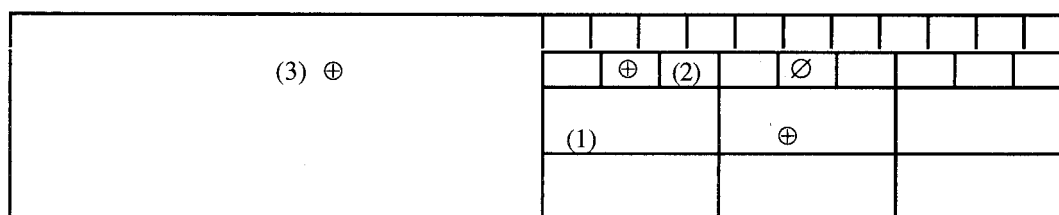


Figure 1 : Schéma de l'expérimentation.

⊕ Site de mesure (tube d'accès neutronique) de l'humidité.

Ø Bac d'évaporation (classe A).

(1) Site 1.

Un prélèvement quotidien de l'évaporation dans un bac (classe A) installé sur le site 2, a été effectué durant la période de suivi.

L'humidité sous cultures est mesurée par humidimètre neutronique sur chacun des trois sites. L'humidimètre utilisé est une sonde type C.P.N.503 .La mise en place des tubes d'accès neutronique a été faite grâce à une tarière spéciale permettant à la fois de creuser le trou du tube et le prélèvement d'échantillon de sol non remanié suivant un pas de mesure de 10 cm . Lors de la mise en place du tube d'accès neutronique, on procède à deux comptages par l'humidimètre neutronique. Un premier comptage sur le tube, appelé comptage standard (N_s) de 10 mesures. Un deuxième comptage (N) a faire dans le tube par pas de mesures . Le rapport (N/N_s) est appelé "Ratio" noté (N^*). L'humidité volumique $\theta_v = f(N^*)$ est linéaire au niveau de chaque couche homogène de sol. Ce qui représente une courbe d'étalonnage. [8]

Le sol est argilo-sableux jusqu' à la profondeur 1.30 m. Il présente une grande hétérogénéité sur l'horizon étudié avec présence de fentes de retrait à la surface, deux à trois heures, après l'arrosage.

La dose d'irrigation est mesurée par seuil déversoir en " V " placé en tête de la sous parcelle. L'évapotranspiration moyenne journalière est obtenue à partir des valeurs décadaires calculées pendant les quatre mois de notre suivi. L'évapotranspiration de référence ET_0 est calculée par la formule de Penman. Les valeurs de l'ETP des cultures sont obtenues à partir de celles de ET_0 corrigée à l'oasis par K_0 (effet oasis) et les coefficients K_c [4] des cultures existantes suivant l'équation (1).

$$ETP(cult) = K_c .K_0 .ET_0 \quad (1)$$

Inspiré de la méthode adoptée dans [11] et [12], le bilan hydrique est calculé par application

de l'équation (2).

$$I + P - (ETR + D) = \Delta S \quad (2)$$

où ΔS est la variation du stock hydrique mesuré sur tout le profil entre deux dates, P la pluie, I la dose d'irrigation, ETR l'évapotranspiration réelle du couvert; D le drainage à la base du profil.

Pratiquement, la période d'arrosage est représentée par celles d'estimation du bilan hydrique correspondants aux mesures neutroniques de l'humidité du sol après deux irrigations successives. Les valeurs décadaires de l'ETP ont été recalculées pour correspondre aux dates des mesures hydriques. La dose d'arrosage est comparée à la réserve utile (R.U) correspondant à la profondeur de mesures sur les trois sites.

Résultats:

A- Estimation du bilan Hydrique sous couvert 1 (site 1).

Les composantes du bilan hydrique calculé sur la période du 1/6/94 au 4/10/94, sont illustrées dans le Tableau 1.

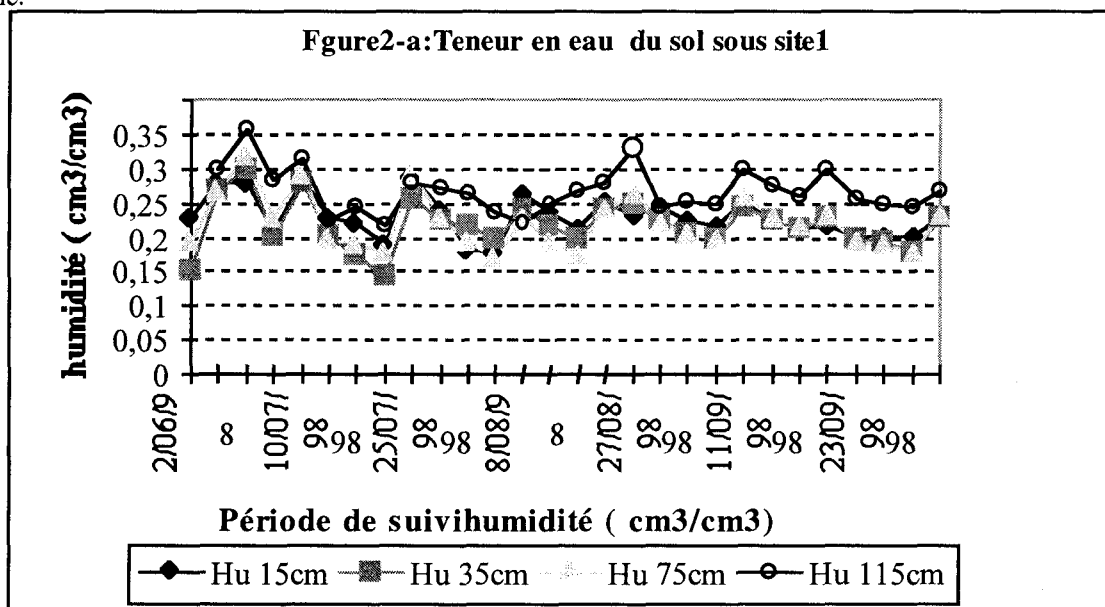
Tableau 1: composantes du bilan hydrique (mm) sur couvert 1 (site 1).

Date	I+ (P)	ΔS	$\Sigma ETP(\text{culture})$	ETR(couvert)	D
20/6/94	165	73.55	166.4	91.45	0
25/6	75	- 52.92	104.90	104.90	23.03
18/7	75	- 67.14	133.06	133.06	9.07
23/7	75	26.8	108.2	48.20	0
6/8	63	14.65	79.13	48.35	0
21/8	75	61.74	67.76	13.26	0
28/8	75	- 62.48	89.24	89.24	48.24
9/9	75	- 7.9	101.20	92.90	0
1/10	96.25	42.93	31.89	31.89	21.43
125 j	774.25	+ 29.23	881.78	643.25	101.78

Les commentaires suivants peuvent être faits:

-l'irrégularité de la période d'irrigation est à l'origine de la grande différence entre ETP et ETR des cultures sur toute la période de suivi. La variation du stock hydrique est forte d'une irrigation à l'autre. De même, l'écoulement d'une lame cumulée de 100 mm au dessous de la côte 1.15 m était favorisé. Le déficit entre apports (I+P) et valeurs cumulées des ETP(culture), dépasse 100 mm

-L'humidité (fig 2-a), est pratiquement la même aux côtes 0.15; 0.35 et 75 cm. On pourrait accorder cette situation à l'activité des racines. La dose donnée par irrigation représente 0.5 à 0.7 R. U. La teneur en eau à la côte 115 cm est très proche de l'humidité aux niveaux supérieurs surtout en périodes où le drainage est nul ou faible.



B- Estimation du bilan hydrique sous couvert 2 (site 2).

Les composantes du bilan hydrique sont portées au tableau 2 . Leur analyse suscite les remarques suivantes

- La dose d'arrosage est plus fréquente et plus grande que sur le site 1. D'un arrosage à l'autre, elle est variable entre 0.67 et 0.82 R.U. Ce qui pourrait expliquer l'importance de la quantité drainée par période ou cumulative.

Tableau 2 : Composantes du bilan hydrique (mm) sous couvert 2 (site 2).

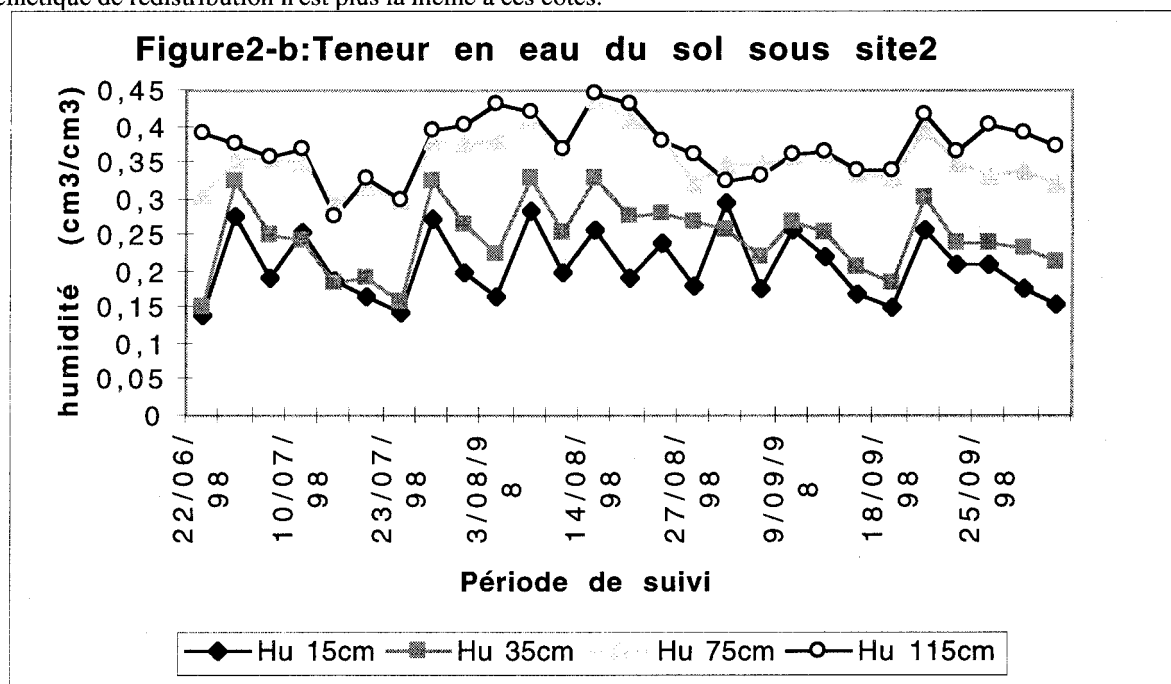
Date	I+P	ΔS	$\Sigma ETP(\text{culture})$	ETR(couvert)	D
23/6/94	162,20	132.39	33.91	29.81	0
8/7	128,20	-37.25	74.13	74.13	91.32
23/7	128,2	48.52	82.69	79.68	0
3/8	128,20	25.18	80.24	80.24	22.78
12/8	162,20	10.31	71.84	71.84	80.05
21/8	128,20	-34.30	79.37	79.37	83.13
28/8	128,2	-69.25	70.04	70.04	127.41
7/9	128,2	25.63	67.20	67.20	35.37
17/9	128,9	48.55	60.75	60.75	19.60
28/9/94		-92.83	49.16	49.16	43.67
100 j	1222.5	56.95	669.22	662.22	503.33

- Les besoins en eau du couvert sont généralement satisfaits sur toute la période de suivi correspondant à la période végétative du maïs.

- La variation du stock hydrique est forte notamment après les deux premières irrigations. Du troisième au dernier arrosage, cette variation est plus régulière. La dernière période de 10 jours sans irrigation, est suffisante pour rendre l'état hydrique du sol à un niveau proche de celui d'avant suivi ($\Delta S = 56.95$ mm).

La figure (2-b) représente la variation temporelle de l'humidité entre 0 et 120 cm. D'après les valeurs relatives aux côtes 15, 35, 75 et 115 cm, on peut constater :

- la variation de la teneur en eau du sol est très forte d'un arrosage à l'autre et entre niveaux de mesures.
- Dès le deuxième arrosage, le niveau de saturation du sol est pratiquement le même aux côtes 75 et 115 cm bien qu'elles appartiennent à deux couches différentes [8]. Comme au début, après le dernier arrosage, la cinétique de redistribution n'est plus la même à ces côtes.



- La variation de la teneur en eau du sol est notable entre les côtes 15 et 35 cm malgré l'importance de la densité des racines de maïs à ces niveaux [10].

Il n'existe pas de grande différence entre les valeurs absolues du stock hydrique d'un site à l'autre. Une différence de plus de 100 mm entre les valeurs extrêmes pourrait être expliquée par l'irrégularité des périodes d'arrosage et le degrés d'homogénéité des couverts vis à vis de la consommation d'eau.

C- Estimation du bilan hydrique sous couvert 3 (site 3).

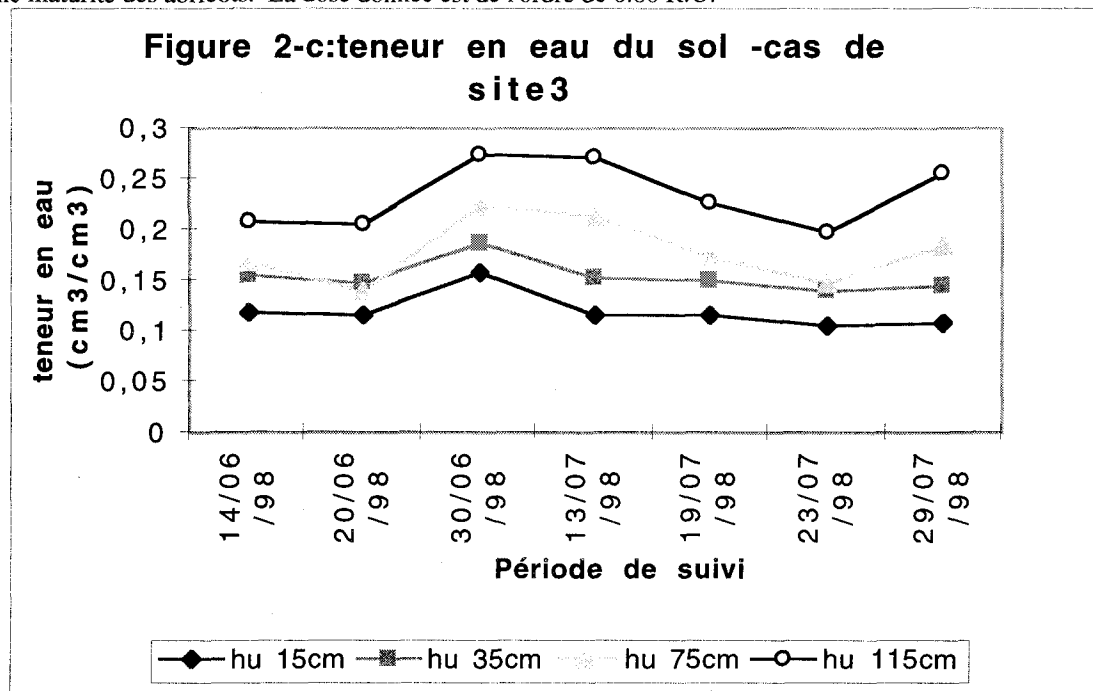
Ce site est juste à côté de la sortie des eaux de toutes origines (borne B_(6/2), la prise de sortie des eaux de forge de l'AIC et sources collectives "eau de l'oued ou le tour d'eau traditionnel"). Il y avait beaucoup de fuites d'eau dont la plus importante est celle due à une cassure de la conduite au niveau de B_(6/2) au cours de la semaine du 13 au 19/06/94. Cette fuite était estimée à 1 l/s suite à une mesure par seuil déversoir. D'autres fuites ont été constatées du 22 au 28 du même mois sans connaître le volume. Pour ces raisons et autres, le suivi de l'humidité était arrêté à la fin du mois de juillet.

Les composantes du bilan hydrique sont portées au tableau 3. Les entrées (I+P) sont mal connues à cause des fuites citées qui ont, paraît-il, favorisé la redistribution vers les couches profondes. La densité du couvert limite beaucoup l'évaporation à partir du sol.

Tableau 3 : Composantes du bilan hydrique (mm) sous couvert3 (site 3).

Date	I+P	ΔS	$\Sigma ETP(\text{culture})$	ETR(couvert)	D
4/6/94	149.6	- 18.7	37.39	37.39	130.91
13/6	(26)	- 12.66	24.06	24.06	14.62
19/6	114	67.34	49.77	46.66	0
29/6		- 27.7	53.01	27.7	0
12/7		-23.51	23.67	23.51	0
18/7		- 21.67	15.87	15.87	5.80
28/7	?	28.90	28.22	?	?

La teneur en eau (fig 2-c). est plus faible que sur les sites 1 et 2. Les apports ont coïncidé avec le stade de pleine maturité des abricots. La dose donnée est de l'ordre de 0.80 R.U.



L'application de la méthode des moindres carrés aux données locales d'évaporation et d'évapotranspiration montre qu'elles sont reliées par une corrélation très élevée. Le traitement statistique des séries de valeurs de

l'humidité du sol (cm³/cm³), du stock et de la variation du stock hydrique (mm) permet de déduire la moyenne (m), l'écart type (s) et le coefficient de variation (cv) correspondants à la loi normale.

Pour l'humidité du sol de la côte 15 cm à 115cm, m est variable entre 0.22 et 0.27 sur site 1; de 0.21 à 0.37 sur site 2 et de 0.12 à 0.24 sur le site 3. Les valeurs de s sont variables entre 0.029 - 0.038; 0.04 - 0.059 et 0.014 - 0.03 sur les trois sites respectivement. Les valeurs de cv correspondantes sont: 0.127 - 0.169 ; 0.100 - 0.197 et 0.094- 0.128.

Pour le stock hydrique, du site 1 au site 3 : m = 294 , 379.34 et 212 mm. L'écart s = ± 37.32 , 91.69 et 21.8 mm. Le coefficient cv = 0.127 , 0.24 et 0.8. Pour ΔS, sur site 1: m = 39.24, s = 30.4 et cv = 0.77. Sur site 2, m = 51.2 mm, s = 39.44 mm et cv = 0.77.

4- Discussion : comparaison ETR / ETP.

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle ET_o et réelle ETR, sont confrontées à l'évaporation dans l'oasis. E_(b.o).

L'évaporation dans le même type de bac à la station météo est notée E_(b.m). Le rapport moyen

$$E_{(b.o)} / E_{(b.m)} = 0,55.$$

A Tozeur (1964-1970), le rapport entre l'évaporation donnée par le même type de bac (classe A) à l'oasis et au chot, est variable entre 0.59 et 0.69 [2]. Ce rapport est de 0.56, entre l'évaporation mesurée en bac (classe A) placé sous un palmier à la parcelle Zaafrania (1980) en Iraq et celle donnée par le même type de bac à la station météo à Wahda située à 15 km [1].

L'expression de ET_o (mm/j) en fonction de l'évaporation est donnée par les équations de régression sur les moyennes décennales :

L'expression de ET_o (mm/j) en fonction de l'évaporation est donnée par les équations de régression sur les moyennes décennales :

$$-ET_o = 0.4573 E_{(b.m)} + 1.3586 ; \quad r = 0.90289$$

$$-ET_o = 0.4283 E_{(b.o)} + 3.8579 ; \quad r = 0.8652$$

En valeurs cumulées des moyennes décennales, l'équation de régression est :

$$-ET_o = 1.0025 E_{(b.o)} - 40.80 ; r = 0.99406$$

A titre indicatif C.Riou et R.Chartier[3] ont trouvé les équations de régression ci-après sur les moyennes mensuelles de l'ETP (mm/j) des mois chauds et secs à la plaine de Mornag..

$$-ETP (\text{gazon}) = 0.50 .E_{(B.A)} + 0.84 ; \quad r = 0.86$$

$$-ETP (\text{gazon}) = 0.964 ETP_{(PEN)} + 0.087 ; \quad r = 0.988$$

-Cas du couvert 1 (Site 1).

D'après les valeurs cumulées, la relation ETP(cultures)/ E_(b.o) est représentée, suivant la régression linéaire, par les équations:

$$-ETP(\text{olivier}) = 0.50 E_{(b.o)} - 22.20 ; \quad r = 0.99324.$$

$$-ETP (\text{luzerne}) = 0.59 E_{(b.o)} - 35.49 ; \quad r = 0.98606.$$

$$-ETR (\text{cultures}) = 0.79 E_{(b.o)} - 47.18 ; \quad r = 0.98717.$$

D'après les valeurs des composantes du bilan hydrique (tableau 1), il semble qu'un apport plus fréquent de la même dose pourrait mieux satisfaire l'ETP des cultures et limite beaucoup les quantités drainées par période d'arrosage.

-Cas du couvert 2 (site 2).

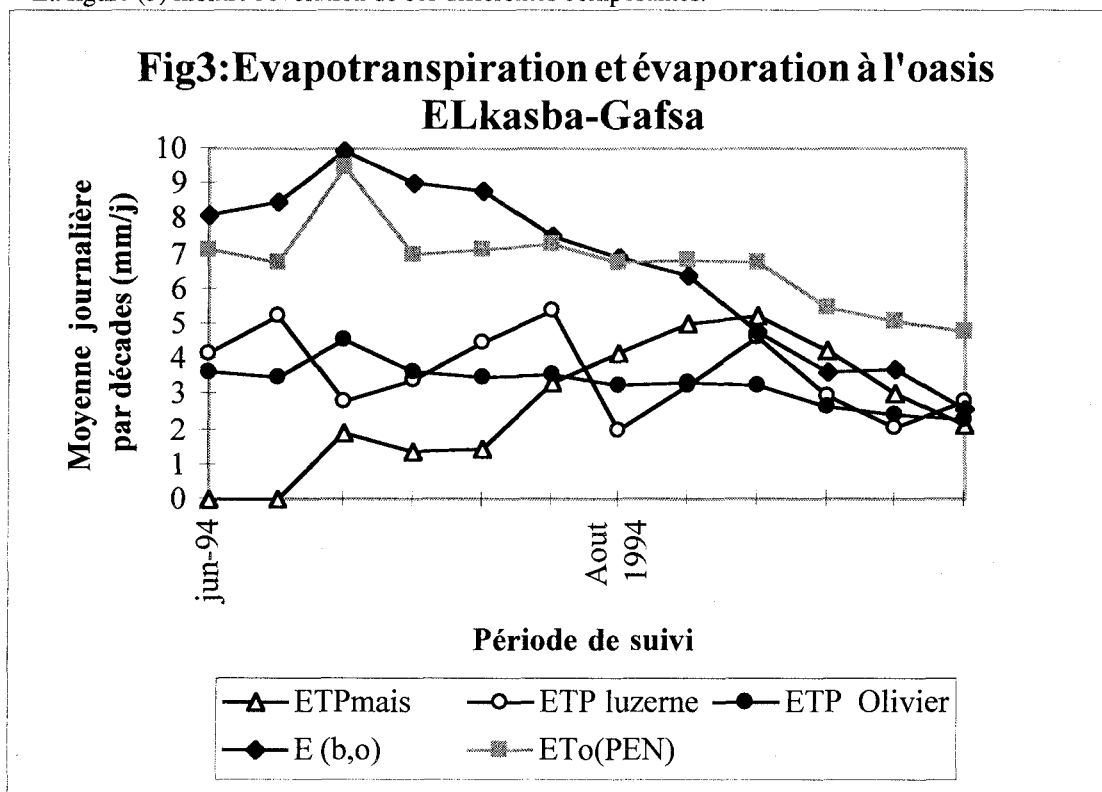
L'ETP est toujours satisfaite (tableau 2). L'évaporation E_(b.o) décroît avec le développement du couvert végétal où est installé le bac [2] comme le montre la figure (3). En valeurs cumulées, E_(b.o) est très proche de l'ETP du couvert. La relation entre les ETP(culture) et E_(b.o) est exprimée par les équations:

$$-ETP(\text{olivier}) = 0.520 E_{(b.o)} - 12.407 ; \quad r = 0.996.$$

$$-ETP(\text{maïs}) = 0.558 E_{(b.o)} - 70.875 ; \quad r = 0.95.$$

$$-ETR(\text{couvert}) = 1.08 . E_{(b.o)} - 92.17 ; \quad r = 0.976.$$

-La corrélation entre l'évapotranspiration et l'évaporation dans le bac est plus importante sur le site1. La figure (3) montre l'évolution de ces différentes composantes.



L'évaporation $E_{(b,o)}$ et E_{To} évoluent de la même manière tout en remarquant :

-les fortes valeurs de $E_{(b,o)}$ au début de la période de suivi, représentent l'évaporation du sol nu jusqu'à la levée du maïs (Semis 23/6/94).

-une période où ces deux données sont très proches (du 20/7 au 20/8/94).

-du 21/8 au 4/10/94 (fin de la période de suivi), la dégradation de l'évaporation du bac $E_{(b,o)}$ est plus accentuée que celle de E_{To} à cause de développement du couvert végétal (site 2) et le passage aux conditions climatiques plus douces (début d'automne avec ciel fréquemment nuageux et chute de quelques faibles précipitations d'une valeur cumulée de l'ordre de 15 mm). Sur le site 1, l'ETP(cultures) est proportionnelle à l'ETP(luzerne) qui évolue en se répétant presque identique d'une coupe à l'autre. L'ETP(olivier) est régulière au cours de la période de suivi.

-Cas du couvert 3 (Site 3).

La comparaison de ETR à ETP montre que l'ETP(cultures) est nettement supérieure à l'ETR immédiatement après la récolte. Ce qui explique l'importance de cette période dans le cycle végétatif de l'arbre qui devient plus exigeant en l'eau.(19/6 -12/7/94). La période d'irrigation est très irrégulière.

Conclusion

L'intérêt des mesures de l'évaporation en bac est montré par la forte corrélation entre l'évaporation à l'oasis et l'évapotranspiration de référence calculée par la méthode de Penman. L'installation (simple et non coûteuse) d'un bac d'évaporation (classe A) au sein d'une petite parcelle irriguée paraît tout à fait à conseiller sur un périmètre irrigué.

La composante drainage est importante aux niveaux des trois sites. L'irrégularité des périodes et les fortes doses d'arrosage (0.5 à 0.82 RU) sont les principales causes.

En cas de représentativité spatiale et sous conditions hydriques non limitantes (cas du site 2), la détermination de l'évapotranspiration d'un couvert considéré par la méthode du bilan hydrique est tout à fait compatible avec l'estimation d'ETP. Lorsque les conditions d'alimentation hydrique deviennent défavorables, cette méthode permet de quantifier l'évapotranspiration réelle.

Une évaluation plus rigoureuse des composantes du bilan hydrique dans un système oasien, est possible par la méthode neutronique et tensiométrique suite à une caractérisation hydrodynamique du sol. Les sites de

mesures doivent être choisis après étude de la représentativité spatiale de la parcelle L'utilisation de cette méthode couplée à une autre de type climatologique d'estimation de l'évapotranspiration (bacs d'évaporation et évapotranspiromètre, formule de Penman ...), permet une comparaison plus complète de ces deux approches. Cette évaluation doit faire l'objet d'une étude future sur les mêmes sites pendant une période de suivi beaucoup plus longue.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A. Abou-khaled., S.A.Chaudhry., S. Abdel-salam., 1982.Preliminary results of a date palm irrigation experiment in central Iraq. The date palm journal 1(2): 199-232. Mai 1982.
- Bouzaydi A., 1982. Les besoins en eau du palmier. Conférence présentée en arabe (8 pages). Sidi -Thebet, 19 Avril- 4 Mai 1982. (C.R.G.R.- Ariana, Tunis.
- C.R.D.A de Gafsa. Rapport d'activité annuel.,1992-1993.
- Doorenbos J., W.O.Pruitt et col.,1986 Les besoins en eau des cultures. Bulletin F.A.O.n°24. Rome 1986.
- Kalms J . M., Vachaud G., Vauclin M., 1982.Modalités d'alimentation hydrique de deux variétés de riz pluvial à l'échelle d'une parcelle avec prise en compte de la variabilité spatiale du sol. Agronomie, 2(9); 871-883.
- Riou C.; Chartier R.,1985. Evapotranspiration en zone semi-aride de deux couverts végétaux (gazon ,blé) obtenue par plusieurs méthodes. I- Evaluation de l'ETP.(conditions hydriques non limitantes) Agronomie.5 (3) 260-266.
- Sakiss N.; Ennabli N.; Slimani M.,1991.La pluviométrie en Tunisie. Imprimerie officielle. 1991.
- Slimani. M.S.;1995. Analyse et diagnostic des périmètres irrigués du gouvernorat de Gafsa. Evaluation de l'irrigation à la parcelle. . Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation de l'I.N.A.T. Novembre 1995.
- Toutain G.,1979. Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. 276 p. Imprimerie Jouve, 17 rue du l'ouvre. 25001 Paris. 4e trimestre 1979.
- Unesco/UNDP (SF)., Recherche et formation en matière d'irrigation avec les eaux salées. 1962-1969. Rapport technique. Paris, août 1970.
- Vachaud. G., Dancette C., Sonko S & Thony J.L.1978. Méthode de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé . Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. Ann . Agron. 29 (1) , 1-36
- Vachaud G., Vauclin M.; Riou C., et Chabouni Z.1985. Evapotranspiration en zone semi- aride de deux couverts végétaux (gazon, blé) obtenue par plusieurs méthodes. II. Méthodes neutroniques et tensiométrique Agronomie 5(3) 267-274.
- Wynn Walker., Gaylord V. Skogerboe.,1987. Surface Irrigation. Theory and practice. Printice-Hall. INC. Englewood Cliffs, New Jercey 07632.

ETUDE DES RISQUES DE SALINISATION DES SOLS A LONG TERME PAR ENDOREISATION ANTHROPIQUE POUR UNE APPROCHE SYSTEMIQUE

M'HIRI A.*, TARHOUNI J.*, HACHICHA M.**,
LEBDI F.*

* Institut National Agronomique de TUNIS

** Direction des sols- Ministère de l'Agriculture de Tunisie.

RESUME

Le problème de la salinisation des terres dans le Monde se pose aujourd'hui avec de plus en plus d'acuité. Les équipes de recherche des divers pays touchés par cette forme de dégradation des terres se préoccupent dans la plupart des cas des tendances évolutives actuelles des propriétés physiques, chimiques et physico-chimiques des sols irrigués aux échelles spatiales du profil vertical pédologique, de la parcelle, et au mieux à l'échelle du périmètre irrigué. Plusieurs méthodes d'investigation sont utilisées pour analyser, décrire et simuler les effets de l'irrigation à l'eau salée sur les propriétés du sol sous l'hypothèse de la constance de la qualité de l'eau utilisée. On considère alors que les risques de salinisation du sol sont faibles dès lors que le profil cultural n'accumule pas des quantités de sels solubles supérieures à des seuils bien définis, ou que les propriétés fonctionnelles du sol n'évoluent pas négativement. Pourtant, l'analyse de l'évolution à long terme de la qualité des ressources hydriques d'un pays ou d'une région aride peut révéler dans certains cas une tendance à l'accroissement de la salinité de l'eau dans les systèmes hydropédologiques dont le fonctionnement est de plus en plus artificialisé par la suite d'une rétention quasi totale des eaux de surface sur le continent et leur utilisation et réutilisation dans les périmètres irrigués. Cette rétention des eaux superficielles sur le continent se traduit par voie de conséquence par une accumulation progressive de grandes quantités de sels dans les zones basses des paysages où se localisent les périmètres irrigués. A long terme, les effets de cette "endoréisation" anthropique des régions naturellement exoréiques peuvent conduire au glissement de la qualité des eaux utilisées en irrigation par salinisation progressive des compartiments bas des systèmes hydropédologiques, et par voie de conséquence à la dégradation des sols.

Dans cette communication, cette approche systémique de l'étude des risques de salinisation des sols à long terme est appliquée au système hydropédologique de la Mejerda, principal cours d'eau exoréique du Nord de la Tunisie et dont les eaux sont de plus en plus mobilisées pour couvrir les besoins en eau des divers secteurs économiques de nombreuses régions du pays.

SUMMARY

In the world, soil salinisation problems held with more and more acuity. The research works in the country affected by such degradation form are focused on chemical, physical and physico-chemical soil properties evolution trend at very short time. The considered spatial scales in these studies are mostly local such as vertical profile, parcel or, at uppermost case, small irrigated area. Several investigation methods are used to describe, analyse and simulate the effects of brackish water on the soil properties with the assumption of constant quality of this water. It is also assumed that the soil salinisation hazards are negligible since the accumulated quantity of salts in the soil profile still lower than some defined thresholds or since the soil properties still not affected significantly. However, the water resource quality evolution at long term could revealed an increase of salinity in hydropedologic system where the functioning is more and more artificialised by the holding, use and reuse of surface water resources within the continent. That water holding could lead to a progressive accumulation of high salt quantity in landscape downstream areas where are located irrigated soils. In long term, the anthropic « endoreisation » effects on the natural exoreic system could result in change of irrigation water quality by progressive salinisation of lower hydropedologic system compartments and thus in soils degradation.

In this work, the systemic approach of the long term salinisation hazards study is applied to the case of hydropedologic system of Mejerda which is the main exoreic river in Tunisia. During the last decades, water management plants had been developed in order to use the water of this river to satisfy water needs of different economic sectors in several areas of the county. Actually, more than 80% of annual water volume of Mejerda system is retained and used mainly for irrigation and water supply. As consequence, a big quantity of salts would be accumulated in the continent and would induce the salinisation of soils and aquifers.

INTRODUCTION: PROBLEMATIQUE ET ENJEUX

Les études classiques des risques de dégradation des terres irriguées à l'eau salée sont généralement abordées à travers les processus d'interaction entre la charge saline des eaux et les constituants chimiquement actifs du sol, à savoir les minéraux argileux et l'humus. Les conséquences négatives de ces processus sur les propriétés physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques du sol, aux différentes échelles d'organisation du sol (minéral argileux, agrégat, horizon, profil vertical, parcelle de culture et parfois le périmètre irrigué) constituent alors les critères d'évaluation des tendances évolutives de la productivité de ces terres à court et moyen termes. Ceci, à côté des effets directs des sels accumulés dans le sol sur les plantes.

Plusieurs méthodes d'investigation adaptées aux échelles spatiales d'étude permettant l'analyse, la description, le contrôle et la prévision des processus évolutifs à court terme, de différentes situations données, ont été développées au cours des cinquante dernières années. Dans la plupart des cas, on considère que le risque de dégradation par les sels (salinisation et/ou sodisation) est nul ou négligeable, donc acceptable, dès lors qu'il n'y a pas, à l'échelle de l'unité structurale analysée, une accumulation de masse de sels solubles supérieure à un seuil déterminé, ou une détérioration des propriétés fonctionnelles du sol (perméabilité, densité apparente, aération, porosité, infiltration) sous l'hypothèse de la constance temporelle de la qualité de l'eau d'irrigation.

Or, l'analyse de l'évolution à long terme de la qualité des ressources hydrauliques dans les régions arides et semi-arides révèle dans de nombreux cas, une tendance à l'accroissement de la salinité de l'eau dans les systèmes hydro-pédologiques dont le fonctionnement est de plus en plus artificialisé par les travaux d'aménagement du territoire et hydro-agricoles (barrages, lacs collinaires, travaux de conservation des eaux et du sol, transfert régional, recharge artificielle des nappes...) visant la rétention quasi totale des eaux de surface sur le continent pour leur utilisation et réutilisation en irrigation.

La concentration de l'apport de ces eaux et des sels qu'elles contiennent sur des périmètres irrigués généralement situés dans les compartiments bas des paysages, risque d'aboutir, dans certaines conditions et à long terme, à un résultat similaire à celui qui prévaut dans les niveaux de base des systèmes endoréïques, à savoir la salinisation de l'ensemble du système formé par le sol, l'eau de drainage et les nappes phréatiques sous-jacentes (Sebkha...). Cela correspondrait alors à une "endoréïisation anthropique" par rétention des eaux de surface et de drainage et leurs charges salines sur le continent.

En Tunisie, la mobilisation des eaux a atteint dans le Nord environ 80 % des ressources hydrauliques de surface (17 barrages avec $1242 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, 60 barrages collinaires avec $45 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ et 245 lacs collines avec $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), dont les 4/5 sont affectés à l'irrigation par un système de gestion intégrée tenant plus compte des quantités disponibles que de leurs qualités, et encore moins des risques relatifs aux sols et aux nappes à long terme par suite de la rétention des sels dans le système.

Par ailleurs, au niveau des périmètres irrigués, les sels introduits dans le sol finissent par atteindre totalement ou partiellement la nappe phréatique selon que le périmètre est doté ou non d'un réseau de drainage artificiel. En terme de bilan, si le drainage superficiel ou profond n'évacue pas la totalité des sels, il se produit leur accumulation dans le sous sol et/ou la nappe.

En plus, le recours à ces nappes phréatiques pour l'irrigation des terres à la périphérie des périmètres aménagés, et parfois même à l'intérieur de ces derniers pour des raisons économiques, ramène les sels en surface et provoque leur concentration durant la saison sèche, puis leur enfouissement de nouveau dans le sous-sol avec les eaux pluviales, d'où une dégradation possible de la qualité des aquifères et par voie de conséquence des risques de salinisation des sols. Enfin, souvent, les eaux de drainage d'un périmètre sont évacuées vers un oued dont les eaux sont mobilisées par un barrage pour l'irrigation d'un périmètre à l'aval.

Les prémisses des effets de cette endoréïisation commencent à se manifester dans certains systèmes hydro-pédologiques au nord de la Tunisie. Dans ce qui suit, nous passerons en revue des cas de salinisation de nappes souterraines ou de sols par accumulation des sels, puis nous tenterons de définir une approche systémique de l'étude des risques de salinisation des systèmes hydro-pédologiques à travers l'analyse de la situation du plus grand de ces systèmes de Tunisie, celui de la Mejerda.

1. Quelques cas de salinisation de sols et de nappes

1.1 Cas des périmètres irrigués de la plaine du Mornag

Les périmètres de cette plaine s'étendent sur une superficie totale de 8667 ha irrigués à partir de trois ressources d'eau :

- La nappe phréatique de surface et secondairement la nappe profonde.
- Le canal de transfert de l'eau de la Mejerda vers le Cap Bon .
- Les eaux usées traitées de la ville de Tunis.

Initialement, seule la première ressource était disponible pour l'irrigation de parcelles dispersées à travers les exploitations. Vers la fin des années 80, un nouveau périmètre a été créé pour recevoir les eaux de la Mejerda, et au début des années 90, un troisième périmètre a été aménagé pour valoriser la troisième ressource.

Sur la base de 5 000 m³ d'eau d'irrigation par ha et par an et de la salinité moyenne de chaque type d'eau, il est possible d'estimer les quantités de sels apportées par an sur la superficie totale des terres irriguées (Tableau 1).

Tableau 1. Quantité moyenne annuelle de sels apportés aux périmètres de Mornag

Ressources d'eau	Superficie (ha)	Volume d'eau d'irrigation 10 ⁶ m ³	Salinité kg/m ³	Sels (10 ³ tonnes)
Puits de surface et sondages profonds	4 127	20	1,5	30
Eaux de Mejerda	3 500	17	2	35
Eaux usées traitées	1 040	5	2	10
Total	8 667	42		75

Ainsi la quantité de sels injectés annuellement par l'irrigation dans le sous-sol a presque doublé par rapport à la situation initiale. Par ailleurs, pour soulager la nappe de plus en plus sollicitée pour l'irrigation, il a été procédé depuis 1992 (DGRE, 93) à sa recharge par l'injection dans un site favorable à l'amont (grès oligocène à Khlédia) d'un volume moyen de 10⁶m³ d'eau de la Mejerda, apportant 1500 tonnes de sels supplémentaires qui s'ajoutent à la quantité précédente.

Nous ne disposons pas de données récentes sur l'évolution de la salinité moyenne de cette nappe phréatique, mais de nombreux agriculteurs affirment avoir constaté une dégradation de la qualité des eaux de leur puits, et certains ne les considèrent plus comme potables. De leur côté, les techniciens qui se sont installés à leur compte sur les terres de l'Etat, ont été autorisés à exploiter la nappe profonde par des sondages de plus de 50 m après avoir constaté l'accumulation des sels à la surface du sol résultant de l'utilisation des eaux de la Mejerda et de celles des puits de surface situés à l'aval de la plaine, probablement contaminées par les eaux de drainage de l'amont.

Ceci après seulement huit ans de la mise en eau de cette plaine avec les eaux importées. Qu'en sera-t-il à long terme si l'hypothèse de la salinisation du système aquifère est confirmée ?

1.2 Cas de salinisation d'une nappe phréatique par enfoncement des sels des eaux de drainage lors d'une année pluvieuse

D'après Tarhouni et al (1996) les sels des eaux d'irrigation accumulés pendant plusieurs années dans la zone non saturée du sous-sol du périmètre de Korba ont été lixiviés en une saison particulièrement pluvieuse (1995-96), ce qui a engendré une salinisation de la nappe phréatique. A titre d'exemple, la conductivité électrique de l'eau de la nappe de Tafelloune est passée de 5,5 avant les pluies à 7,5 mS/cm à la fin de la saison pluvieuse. Cet exemple met en évidence le processus du recyclage des sels à travers le profil pédologique, le sous-sol et la nappe phréatique après une concentration à la surface du sol.

1.3 Cas de la salinisation des sols par transfert des eaux de drainage naturel

Ce cas a été décrit par Hachicha et al. (1993) dans le périmètre de Mornaguia irrigué depuis 1983, où la salinisation des sols s'est manifestée dans le secteur en pente de Bou Hnach, par suite du transfert des eaux de drainage naturel durant la saison pluvieuse des parcelles amont vers les parcelles situées plus bas. Il illustre les risques de salinisation par transfert latéral des sels accumulés dans le sous-sol, à l'échelle d'un périmètre irrigué.

2. Analyse du système hydro-pédologique de la Mejerda.

La plupart des études sur les ressources naturelles réalisées en Tunisie, et probablement ailleurs, traitent les divers aspects d'une même problématique locale ou régionale séparément, occultant les interactions possibles entre eux et débouchent ainsi sur des conclusions ou solutions partielles, peu ou pas concordantes. C'est souvent le cas dans les études relatives aux ressources en eau et en sol.

Dans l'interrogation que nous formulons ici sur les risques de salinisation du sol à long terme, il nous a paru nécessaire d'aborder cette question selon une approche systémique telle que formulée par Mhiri et al (1994, 1995). En effet, le concept d'organisation latérale des sols, matérialisé par la Couverture Pédologique ne semble pas suffire pour évaluer et localiser ces risques.

2.1 Définition du système hydropédologique

Ce système est défini par :

- ses composantes, à savoir le sol, le sous-sol et les nappes aquifères sous-jacentes,
- leurs organisations verticale et latérale à l'échelle du bassin versant,

leurs fonctionnement et évolution à travers la dynamique et le bilan de l'eau (infiltration, ruissellement, drainage naturel...),

- un bilan de matière global, de l'amont à l'exutoire du bassin versant, et des bilans partiels relatifs d'une part aux compartiments du système (C.amont, C. de piémont et C. des vallées), d'autre part aux composantes d'un compartiment donné.

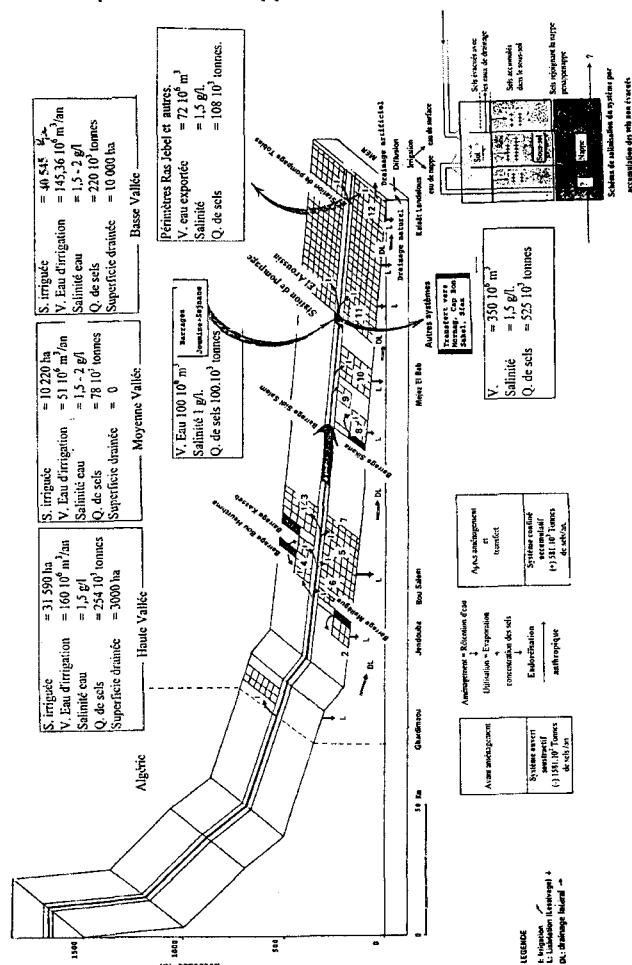
S'agissant d'un système très perturbé par l'homme, on parle alors d'un système anthropohydropédologique (Mhiri et al, 1994).

L'analyse qui suit porte sur les compartiments bas du système de la Mejerda.

2.2 Les caractéristiques du système

Le bassin versant de cet oued pérenne unique de Tunisie et exoréique couvre une superficie de 23 700 Km² dont une partie seulement, soit de l'ordre 16 100 Km², s'étend en Tunisie, le reste relève de l'Algérie. Entre une altitude de 1 712 m où il prend sa source et le niveau de la mer où il termine sa course, il parcourt 465 Km, le long desquels il est alimenté par de nombreux affluents drainant six unités hydrologiques (sous-systèmes hydropédologiques) contribuant à des degrés divers à la salinisation de ses eaux, selon la nature de leurs formations superficielles.

Concernant la couverture pédologique, les nombreuses études réalisées par la Direction des sols, l'INAT et d'autres organismes ont permis d'analyser l'organisation et l'évolution des sols des trois compartiments du bassin versant. Il en ressort une diversité de sols développés pour l'essentiel sur des matériaux calcaires, par endroits chargés en sels solubles (Trias), sous des formation végétales initiales forestières, mais aujourd'hui en voie de dégradation, apparentés aux sols calcimagnésiques, fersiallitiques, isohumiques et vertiques sur les terrains en pente, passant à des sols peu évolués d'apport alluvial de texture fine dans les plaines et vallées.



S'agissant d'une zone relativement pluvieuse (bioclimat semi-aride avec une pluviométrie allant de 350 à 550 mm/an) et de structures géologiques souvent favorables, le sous-sol de ce bassin versant comporte de

nombreuses nappes aquifères de qualités chimiques variables, alimentées à partir des compartiments amont, des piémonts ou des lits des oueds. Ceci fait que le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique à travers les composantes de chaque sous-système, détermine la qualité des eaux de ces nappes. Il s'ensuit que toute perturbation de ce fonctionnement par les divers aménagements hydro-agricoles peut avoir des impacts sur la qualité de ces ressources. En ce qui concerne la salinité de l'eau de surface, elle varie dans le temps et dans l'espace. Les mesures de concentration effectuées à différents sites ont révélé un gradient croissant du résidu sec de l'amont à l'aval de cet oued. Dans une première approximation, nous retiendrons dans ce qui suit une salinité moyenne de 1,5 g/l pour l'ensemble des vallées. Quant au faciès géochimique de ces eaux, il est chloruré sodique et ne change pas sensiblement le long de l'axe de cet oued (Tableau 2).

Tableau 2. Composition chimique moyenne de l'eau de la Mejerda à Mezez El Bab

pH	CE * mS/m	RS * g/l	SAR*	meq/l							
				CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
8	2,5	1,8	4,3	0	3	11	13,3	19	6	12,4	0,2

*CE: Conductivité Electrique RS: Résidu Sec SAR: Sodium-Adsorption-Ratio

D'un autre côté, dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau de surface des diverses régions du pays, ce système reçoit les quantités d'eau excédentaires du système de l'Ichkeul, situé plus au nord, avec un volume moyen annuel de l'ordre de 100 10⁶ m³/an d'une salinité moyenne de 1g/l, mais exporte à travers le Canal Mejerda-Cap Bon vers d'autres régions de l'ordre de 350 10⁶ m³/an d'une salinité moyenne de 1,5 g/l, et 72 10⁶ m³/an d'une salinité moyenne de 1,5 g/l vers les périmètres de Ras Jebel, Rafraf, Zouaouine,

Ces eaux mobilisées assurent l'essentiel des besoins hydriques des diverses activités socio-économiques de nombreuses régions du pays, mais 80 % de ces ressources disponibles sont destinés à l'agriculture. A l'intérieur du système Mejerda, les périmètres irrigués couvrent une superficie totale de l'ordre de 82 355 ha (Tableau 3) et nécessitent un volume d'eau de 340 10⁶ m³/an.

3. Essai d'un bilan salin annuel du système

Ce bilan peut être établi à deux échelles d'analyse: à l'échelle globale pour mettre en évidence les tendances générales, puis à une échelle détaillée au niveau des sous-systèmes afin de spatialiser les processus, les termes du bilan et localiser les risques.

3.1 Bilan général du système

Appliqué à ce système, considéré à ce niveau d'analyse comme une boîte noire, (fig. 2) l'équation de conservation de masse permet d'établir les bilans globaux d'eau et des sels et d'en déduire, entre autres, les quantités de sels évacués ou accumulés.

$$\text{Bilan d'eau : } \sum_s VE - \sum_s VS = [\Delta V]_s \quad (1)$$

$$\text{Bilan des sels : } \sum_s ME - \sum_s MS = [\Delta M]_s \quad (2)$$

où : * $\sum_s VE$ et $\sum_s ME$ représentent respectivement le volume total d'eau et la masse totale de sels entrant dans le système à partir de son bassin versant et importés d'autres systèmes.

* $\sum_s VS$ et $\sum_s MS$ correspondent au volume total d'eau et à la masse totale des sels sortant à l'exutoire du système ou exportés vers un autre système.

* et $[\Delta V]_s$ et $[\Delta M]_s$ sont respectivement les variations du volume d'eau et de la masse de sels dans le système.

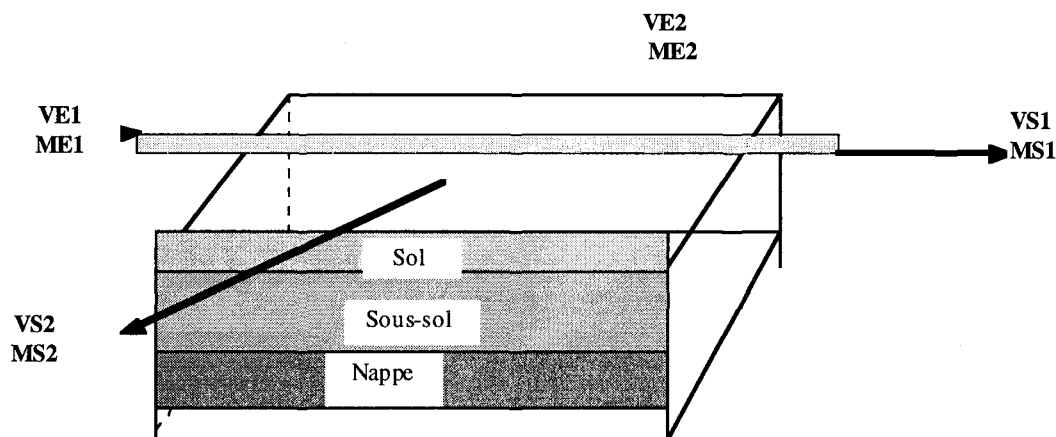


Fig.2. Bilan général du système hydro-pédologique de Mejerda

3.1.1 Bilan salin global avant les aménagements hydrauliques

Ce bilan est en fait difficile à faire compte tenu de l'irrégularité qui caractérisait les écoulements vers la mer. La dernière grande crue de Mars 1973 (DGRE-Claude et al, 1973) a transporté en quelques jours $943 \cdot 10^6$ m³ d'eau, $127 \cdot 10^6$ tonnes de sédiments et $949 \cdot 10^3$ tonnes de sel, valeurs ayant les mêmes ordres de grandeur que les quantités moyennes annuelles. Nous retenons ici un débit annuel moyen de l'ordre de $1024 \cdot 10^6$ m³ à Mejez El Bab (à 60 km de la mer), soit un débit moyen de l'ordre de $32 \text{ m}^3/\text{s}$ (Kallel, 1976). Si l'on considère une fourchette de salinité moyenne de 1,5 à 2 g/l, le système évacuait entre $1530 \cdot 10^3$ et $2048 \cdot 10^3$ tonnes de sels totaux par an. Le transfert de ces sels du continent vers la mer débarrassait ce dernier des chlorures et du sodium, mais enrichissait la chaîne alimentaire marine en nutriments de base (N.P. K, ...).

3.1.2 Bilan salin global après l'artificialisation du fonctionnement hydrique du système (aménagement hydro-agricole).

La rétention des eaux de ruissellement sur le continent a pratiquement annulé les crues et les inondations des vallées. Après l'achèvement des premiers barrages (Mellègue sur la rive droite de Mejerda, Beni Mtir sur sa rive gauche) le volume moyen annuel est tombé à $900 \cdot 10^6$ m³, ce qui correspond à un débit moyen annuel de $29 \text{ m}^3/\text{s}$. Actuellement, la mobilisation annuelle de $858 \cdot 10^6$ m³ par les barrages engendre la rétention d'une quantité de sels solubles (ME1) estimée à $1287 \cdot 10^3$ tonnes sur la base d'une salinité moyenne de l'eau de 1,5 g/l.

Les autres termes du bilan à prendre en compte à l'échelle de cette estimation sont :

- Les sels importés d'autres systèmes avec les eaux : ME2
- Les sels exportés avec les eaux à travers le Canal Mejerda - Cap Bon, Sahel et Sfax (MS21).
- Les sels exportés vers Ras Jebel et autres périmètres (MS22).
- Les sels évacués vers la mer par les 14 % des eaux de surface non encore mobilisés (MS11).
- Les sels des eaux de drainage artificiel rejetés dans la Mejerda puis vers la mer (MS12) (les sels de l'eau de drainage naturel ne sont pas comptabilisés car ils sont retenus dans le système).
- Les sels évacués vers la mer par la nappe phréatique au niveau de la Basse Vallée (MDn).

Ainsi la quantité des sels retenue dans le système serait :

$$[\Delta M]_s = ME1 + ME2 - MS11 - MS12 - MS21 - MS22 - MDn.$$

MDn est actuellement difficile à estimer faute de données, et en première approximation, nous considérons que ce terme n'a pas évolué d'une façon sensible par rapport à ce qu'il était avant la rétention des eaux. Il serait donc négligeable.

$$\begin{aligned} ME1 &= 1\,325 \cdot 10^3 \text{ tonnes (y compris } 37,5 \cdot 10^3 \text{ tonnes introduites par les eaux usées)} \\ ME2 &= 100 \cdot 10^3 \text{ tonnes} \\ MS11 &= 180 \cdot 10^3 \text{ tonnes} \\ MS12 &= 30 \cdot 10^3 \text{ tonnes} \\ MS21 &= 525 \cdot 10^3 \text{ tonnes} \\ MS22 &= 108 \cdot 10^3 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

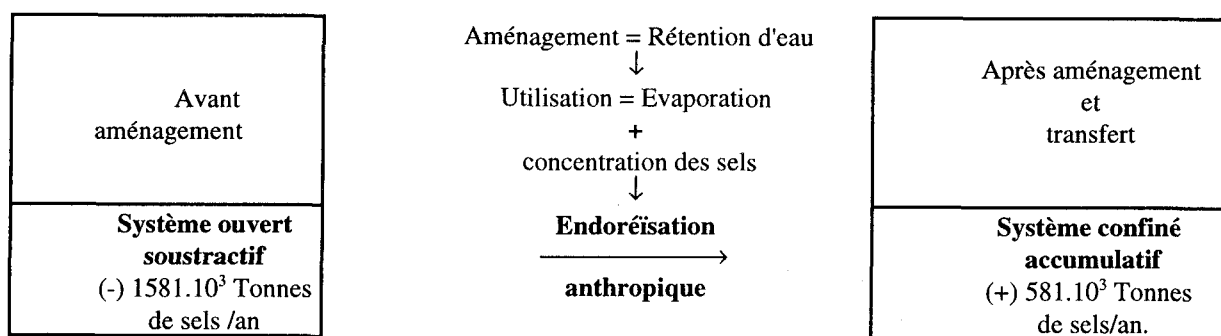
$$\text{Ceci donne} \quad [\Delta M]_s = + 581 \cdot 10^3 \text{ tonnes}$$

Par conséquent, en comparant les bilans salins du système avant et après artificialisation de son fonctionnement hydraulique, on obtient une rétention annuelle de sels de $581 \cdot 10^3$ tonnes si l'on prend en compte toute l'eau utilisée dans le système. Cette masse considérable de sels retenue sur le continent y est recyclée à travers plusieurs modes d'utilisation : eaux domestiques, recharge naturelle des aquifères sous les barrages... et l'irrigation. Si l'on considère seulement cette dernière, le volume total d'eau utilisé mentionné précédemment ($366 \cdot 10^6$ m³/an) apporterait aux 82 355 ha (Tableau 3), $549 \cdot 10^3$ tonnes de sels, dont une partie (MS12) est évacuée par drainage. Donc, c'est au niveau des périmètres irrigués, les plus grands consommateurs de l'eau mobilisée, que se posent les plus grands risques de salinisation du système.

Tableau 3 . Périmètres irrigués dans le système de la Mejerda (DEGTH, 1993)

Compartiment	Superficie ha	Besoins en eau 10^6 m^3	Salinité moyenne g/l	Superficie drainée ha
Haute Vallée	31 590	169,20	1,5	3 000
Moyenne Vallée (y compris Siliana)	10 220	51,10	2	0
Basse Vallée (y compris 3000 ha à l'eau usée)	40 545	145,36	2	10 000
Total	82 355	366,66	-	1 3000

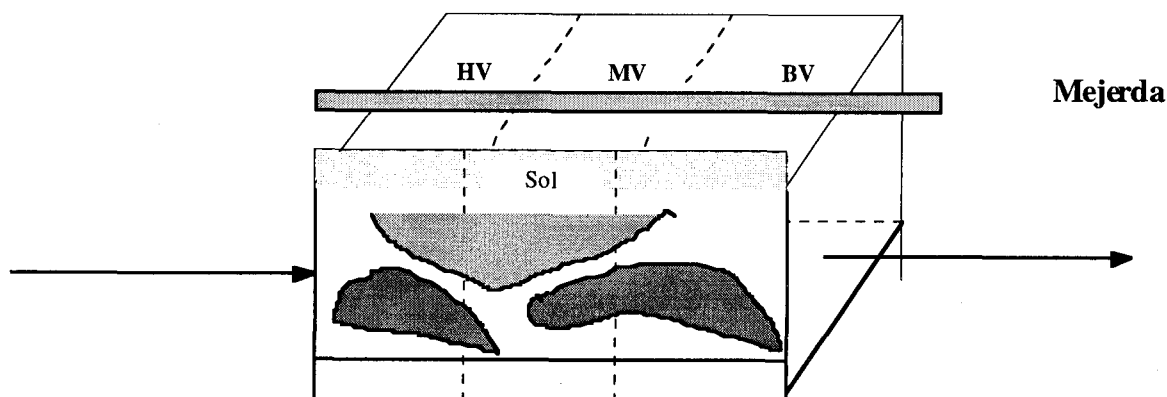
Ce bilan global approximatif traduit un changement notable dans le fonctionnement du système. D'un système ouvert soustractif, on passe progressivement à un système confiné accumulatif (fig.3).

**Fig.3.** Schéma de l'itinéraire de l'évolution du système

Au niveau du macrosystème anthropo-hydropédologique de la Mejerda, le confinement se réalise dans les compartiments bas des paysages, et en particulier dans les périmètres irrigués qui constituent une surface évaporatoire des eaux utilisées, aboutissant en fin de compte à la concentration des sels dans le profil pédologique au cours des saisons sèches, puis à leur enfoncement plus ou moins rapide dans le sous-sol et les aquifères durant les saisons pluvieuses conformément aux résultats de Tarhouni et al. (1996).

3.2 Eléments de bilans partiels du système

Le bilan détaillé de ce système est encore moins aisé à établir actuellement vu l'indisponibilité des données relatives à de nombreux termes d'entrée et de sortie des eaux et des sels dans chacune des vallées qui composent le système, particulièrement concernant les activités extra-agricoles. Nous nous limiterons ici à une ébauche de bilans partiels relatifs aux périmètres irrigués seulement (fig.4).

**Fig.4.** Schéma d'un bilan détaillé (spatialisation latérale au niveau du sous-système et verticale au niveau du sol, du sous-sol et des systèmes aquifères)

3.2.1 La Haute Vallée

La superficie totale des périmètres irrigués y est de 31 590 ha dont seulement 3 000 sont drainés. Les besoins totaux en eau d'irrigation s'élèvent à $169,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (Tableau 3) et la salinité moyenne de l'eau d'irrigation est de 1,5 g/l. La masse de sels apportés par les eaux d'irrigation est d'environ $254 \cdot 10^3$ tonnes.

Une partie de ces sels est évacuée par les eaux de drainage :

- Au cours de la saison d'irrigation, la fraction lessivante estimée à 10 % des doses d'irrigation et ayant une concentration trois fois supérieure à celle de l'eau d'irrigation (soit 4,5 g/l), permet de soustraire des 3 000 ha drainés une masse de sels de $7,2 \cdot 10^3$ tonnes, qui sont rejetés dans la Mejerda.

- Au cours de la saison pluvieuse, le lessivage naturel des sols de tout le périmètre irrigué est en mesure de soustraire une masse moyenne de sels de l'ordre de $71,1 \cdot 10^3$ tonnes, en considérant une lame d'eau d'infiltration efficace vers la nappe de 50 mm avec une salinité 3 fois supérieure à celle de l'eau d'irrigation.

En supposant que toutes les eaux de drainages naturel et artificiel rejoignent le lit de la Mejerda, les périmètres irrigués largueront, au total, de l'ordre de $80 \cdot 10^3$ tonnes de sels. Cependant, en fin de course, cette quantité rejoint les eaux du barrage de Sidi Salem destinées à divers usages à l'aval du système.

Ainsi, le bilan salin annuel de ces périmètres se solderait par l'accumulation de $254 \cdot 10^3 - 80 \cdot 10^3 = +174 \cdot 10^3$ tonnes de sels, ce qui est équivalent environ à 2/3 des sels introduits.

3.2.2 La Moyenne Vallée

L'ensemble des périmètres, y compris ceux de Siliana, couvrent $10\,220 \text{ ha}$ et consomment $51 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ d'eau d'une salinité moyenne de 1,5 g/l (Tableau 3), ce qui engendre l'accumulation d'une masse de sels de $78 \cdot 10^3$ tonnes. En l'absence de drainage artificiel, et en admettant que le lessivage naturel soit efficace, il pourrait soustraire avec une infiltration efficace de 50 mm/an et une salinité de l'eau de drainage de 3 fois celle de l'eau d'irrigation, $23 \cdot 10^3$ tonnes de sels. Ainsi le bilan se solderait par :

$$78 \cdot 10^3 - 23 \cdot 10^3 = +55 \cdot 10^3 \text{ tonnes de sels.}$$

3.2.3 La Basse Vallée

Avec $40\,545 \text{ ha}$ irrigués, les besoins en eaux d'irrigation sont estimés à $146,36 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (Tableau 3). Avec une eau de 1,5 g/l, les irrigations apporteraient $220 \cdot 10^3$ tonnes de sels : Les surfaces drainées artificiellement couvrent au maximum $10\,000 \text{ ha}$. Sur la base des mêmes hypothèses retenues pour les autres périmètres le drainage artificiel évacuerait $16 \cdot 10^3$ tonnes de sel, et le lessivage naturel évacuerait $91 \cdot 10^3$ tonnes de sel. Dans ces conditions, le bilan se solderait par :

$$220 \cdot 10^3 - (16 \cdot 10^3 + 90 \cdot 10^3) = +113 \cdot 10^3 \text{ tonnes de sels.}$$

Tableau 4. Récapitulation des bilans salins dans les trois vallées (en 10^3 tonnes de sels)

Désignation	ME*	MS* drainage artificiel	MS* drainage naturel	Solde
Haute Vallée	254	7	71	+ 176
Moyenne vallée	78	0	23	+ 55
Base vallée	220	16	91	+ 113
Totaux	552	23	185	+ 344

* ME = Masse de sels Entrant

MS=Masse de sels Sortant

4. Discussion

En dépit des simplifications et approximations minimisant les entrées des sels et maximisant leurs évacuations avec les eaux de drainage, les résultats obtenus rendent plausible l'hypothèse de l'accumulation des sels dans le système:

-Le bilan global met en évidence la tendance lourde du confinement global du système.

-Les bilans partiels relatifs aux vallées confirment cette tendance au niveau des périmètres irrigués.

Les stocks de sels accumulés dans chaque vallée du système Mejerda paraissent élevés; mais que *représentent-ils par rapport aux volumes d'eau des systèmes aquifères susceptibles de les recevoir?* et *quels serait leurs effets sur la salinité des ces ressources à long terme?* Les réponses à ces questions ne peuvent être apportées sans une approche dynamique des transferts et des interactions qui pourront avoir lieu dans le système.

Actuellement, il n'y a pas de manifestations d'accumulation de sels généralisée à l'ensemble d'un périmètre ou l'une de ces composantes. Néanmoins, des cas de salinisation ponctuelles du profil pédologique ou de nappe plus ou moins importantes ont été observés dans différents périmètres (Souk Essebt et Brahmi à la Haute Vallée et Mornaguia à la Basse Vallée). *Peut-on alors les considérer comme des indicateurs d'un début de*

vérification de l'hypothèse posée au départ et comme une confirmation des tendances de confinement du système? Rien ne permet de l'affirmer, mais la question du devenir des stocks de sels et leur évolution dans les composantes du système reste posée.

Ces stocks sont globalement proportionnels aux surfaces des périmètres irrigués des trois vallées. Cependant, il ressort que les périmètres de la Basse Vallée, bien que plus vastes que ceux de la Haute Vallée, retiennent moins de sels que cette dernière, ce qui ne correspondrait pas à la réalité. Cette anomalie est due au fait que les doses d'irrigation pratiquées dans la Basse Vallée (3 600 m³/ha en moyenne, DEGTH, 1993) sont moins élevées que celles de la Haute vallée, ce qui se traduit par des apports de sels à l'hectare plus faibles.

Par ailleurs, la différence de stocks de sels des bilans global et partiels (581 10³-344 10³=237 10³ tonnes de sels) donne une idée sur l'importance des sels recyclés dans le système par les activités extra-agricoles et souligne la nécessité de prêter une attention particulière à la gestion des rejets dans le système des diverses eaux usées.

Malgré l'exportation nette hors du système Mejerda plus du tiers des ressources d'eau mobilisées et les sels qui les accompagnent, les bilans obtenus confortent le concept d'endoréisation anthropique avec toutes ses conséquences à long terme. Mais si le système pris ici comme exemple est soulagé par l'exportation d'une partie de ses sels, cela ne fait que reposer le même problème à l'échelle des régions importatrices d'eau (Mornag, Kobba) et même au niveau du bilan salin à l'échelle du pays après rétention de toutes les eaux mobilisables.

Ces résultats préliminaires et approximatifs n'ont de sens que pour justifier de futures investigations relatives à la gestion de la qualité des ressources d'eau et aux divers aspects des risques de salinisation des systèmes hydro-pédologiques dans les régions arides et semi-arides, dont en particulier :

- l'évacuation des sels des eaux de drainage en dehors du système,
- l'efficacité des drainages naturel et artificiel dans les diverses situations,
- les effets plausibles des divers modes d'irrigation sur le fonctionnement des sous-systèmes
- les risques liés à la qualité des eaux de recharge
- et les méthodes d'étude et de suivi de la salinité du profil hydro-pédologique.

L'étude de ces différents points ne peut être appréhendée sans une caractérisation adéquate du système et des différentes interactions entre ses composantes.

En inscrivant le développement futur de l'irrigation dans les logiques économique et environnementale, on comprend les exigences des planificateurs relatives à l'économie d'eau moyennant, entre autres, des techniques de l'irrigation localisée et l'augmentation du prix de vente de l'eau. Compte tenu de la tendance de confinement général du système mise en évidence sous des hypothèses très favorables au lessivage des sels en partie par l'eau d'irrigation ou de pluie, *on ne peut s'empêcher de s'interroger sur l'impact d'une telle "économie" dans les systèmes arides où toute réduction des doses d'irrigation accroît le risque de salinisation.*

Enfin, si on admet l'hypothèse de l'absence de fuite latérale des eaux et de sels hors des systèmes aquifères, on peut schématiser le processus d'accumulation des sels selon la figure suivante:

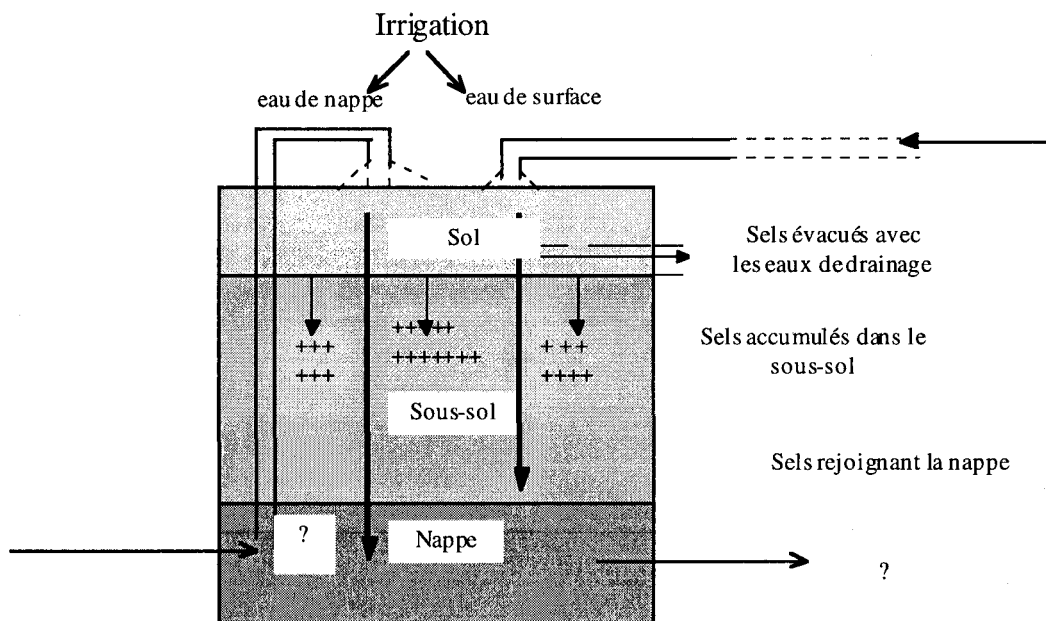


Fig. 4. Schéma de salinisation du système par accumulation des sels non évacués

Conclusion

L'accroissement de la demande en eau des divers secteurs socio-économiques dans les régions arides pose de nombreux problèmes de gestion de la qualité de cette ressource rare. Si dans les régions tempérées, la pollution des sols et des nappes par les nitrates constitue l'un des principaux risques de dégradation des ressources naturelles, engendré par les activités agricoles, dans les régions semi-arides et arides, le risque d'accumulation des sels dans les systèmes anthropo-hydropédologiques s'accroît avec l'extension et l'intensification de l'irrigation. Les études classiques de la salinisation aux échelles ponctuelles ou locales ne peuvent pas déboucher sur des solutions de gestion durable des systèmes aux échelles régionale, nationale et transnationale. Les résultats de l'analyse du cas considéré dans cette étude confortent le concept d'endoreïssation anthropique par confinement de ce système. En conséquence, l'approche systémique apparaît à travers le cas de la Mejerda comme étant susceptible d'appréhender le problème de la salinité dans ses dimensions naturelles. Il reste cependant à formaliser cette approche, à la doter de méthodes appropriées d'investigations et à évaluer sa pertinence.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Claude J., Francillon G. & J.Y. Loyer, 1976. Les alluvions déposées par l'oued Mejerda lors des crues exceptionnelles de Mars 1973, 162 p. D.R.E.S-ORSTOM-Ministère de l'Agriculture de Tunisie.
- DGRE, 1993. Recharge artificielle des nappes de Tunisie. Publication de la direction générale des ressources en eau.
- DEGTH, 1993. Economie d'eau 2000, rapport final, Banque de Données. Volume: Besoin en eau.
- Hachicha M., Djedidi B., Soussi A. & N. Brari, 1993. La salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mornaguia. ES 276, 15 p. Direction des sols-Ministère de l'Agriculture de Tunisie.
- Kallel R., 1976. Les principaux cours d'eau de Tunisie. Ressources en eau de la Tunisie n°3, Direction Générale des Ressources en Eau, Ministère de l'Agriculture.
- Mhiri A., Ben Saïd M., Kaabia M. & Bachta M.S., 1994. Pour une approche holistique de la restauration des terres soumises à l'érosion hydrique dans le Nord-Ouest de la Tunisie. 16 p, in *L'Homme peut-il refaire ce qu'il a défait?* Pontanier, Mhiri A., Aronçon J., Akrimi N. & E. Le Floc'h ed., Colloque et Congrès, Université Francophones, J.L. John Libbey Eurotext.
- Mhiri A., Bachta M.S., Chennoufi A., Ben Saïd M., 1995. Contribution to formalization of a Holistic Approach in water erosion control in the north-western parts of Tunisia, in *Holistic Approach to sustainable development Proceedings of Bologna Workshop, 1995-E.E.C-* Reale et al editors, Department of Soil Science and plant nutrition. University of Florence, Italy.
- Tarhouni J., Chaieb H., Rekaya M. & K. Walraevens, 1996. Caractérisation hydrochimique de la nappe phréatique de Korba. Travail en cours de réalisation. INAT

VALORISATION DES MARGINES DANS LA STABILISATION DES SOLS

H. J. MELLOULI¹ R. HARTMANN²

¹Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie
Laboratoire de Bioclimatologie

Rue Hédi Karray, 2049 Ariana - Tunisie.

²Faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques
Appliquées (Université de Gand) Département de Physique
du Sol 653 Coupure Links, 9000 Gent - Belgique

RESUME

L'application des margines, effluents liquides issus de l'extraction de l'huile par pression des olives, par incorporation au niveau de trois sols à textures différentes (sable limoneux, limon sableux et argile légère) a engendré une amélioration de la stabilité structurale, évaluée par la technique du tamisage sous eau. Il en est ressorti que l'épandage des margines est le plus efficace sur le sol grossier.

L'humidité initiale optimale du sol au moment de l'application des margines correspond à l'humidité liée à la tangente à la plus grande courbure de la courbe de pF. Cependant, ceci ne s'avère pas vrai lorsque le taux d'argile dépasse 15 %. La dose optimale est située, pour les sols étudiés, entre 0.5% et 1 % de matière active de margines par rapport au poids du sol sec.

Des essais sous un simulateur de pluie ont démontré que l'application des margines par pulvérisation à la surface d'un sable limoneux permet de former un enrobage hydrophobe et liant autour des agrégats dont la stabilité est fonction de la dose appliquée. Il en est résulté une réduction du ruissellement et du sol érodé. Néanmoins, la technique d'incorporation est plus efficace que celle de la pulvérisation car elle permet de mieux distribuer les margines dans la couche traitée. Les agrégats, ayant acquis les propriétés hydrophobes et liantes des margines, deviennent stables vis-à-vis de l'énergie cinétique des gouttes de pluie et résistent à la compression de l'air au cours de leur humidification.

Ces résultats obtenus au laboratoire indiquent des possibilités de l'utilisation des margines dans la stabilisation des sols sableux au sud tunisien. Si des résultats positifs seraient obtenus, cela permettrait d'ouvrir de nouvelles perspectives de valorisation des margines, considérées actuellement comme polluantes, disponibles à travers le pays dans les zones rurales oléicoles.

SUMMARY

It was shown that the olive mill effluents (O.M.E.) called « Margines » in French, are characterised besides their fertilising properties, by their adhesive and hydrophobic behaviour. Consequently we have evaluated, under laboratory conditions their efficiency as soil conditioner by accessing the direct effect of this waste product on soil aggregation and its stability. The product was applied to the soil in two different ways : either incorporated (thoroughly mixed with the soil) or by a surface application (mulching). Respectively, the wet sieving technique and rainfall simulation were used to determine the optimal application rate on a loamy sand soil.

The optimal initial moisture content at the moment of application (incorporation) corresponds with the point on the desorption curve with the greatest curvature. Then the soil is at a moisture content with a water film around the particles and meniscus in between, as suggested by Gabriels and De Boodt (1972). Consequently a better distribution of OME and improved soil structure stability were obtained with an optimal rate of 1.0 % of OME active material (a.m.) versus dry soil. This corresponds to an application over a soil thickness of 5 to 10 cm when an amount is applied as a fertiliser (being 30 m³/ha of OME, containing 20 % a.m. which is twice that of the OME used in this study).

Rainfall simulation experiments on the effect of surface application (mulch) of « Margines » on the sensitiveness of the soil surface to water erosion showed that the formed coating as a result of the applied OME can partially or totally be destroyed under the impact of the raindrops. The degree of breakdown of the coatings decreases with increasing OME doses (until 50 a.m. per m²). An amount of 25 g a.m. per m² seems to be optimal for the loamy sand.

Three stages in the water erosion process were observed viz. a pre-erosion stage, followed by a transition phase with an increasing erosion and finally a third stage of a maximum erosion. Hence anti-erosion techniques

should be tested on their efficiency to extend the duration of the first two phases and to decrease the rate of erosion in the third phase.

Since OME improve the soil aggregation, it could be worthwhile to investigate its possibilities for sand dune fixation in the south of Tunisia. Although previous studies have shown that a negative effect a short or medium term were resulted by using the OME as fertiliser, experiments to assess the ecological effect on the long term are a prerequisite before such an application should be promoted on a large scale.

1. INTRODUCTION

Lorsqu'un sol est ramené à une humidité optimale de structuration (Gabriels et De Boodt, 1972), l'eau, l'argile et la matière organique agissent comme facteurs de liaisons naturelles entre les particules du sol (De Boodt et al., 1970; Hartmann et De Boodt, 1974; M'Hiri, 1978; Emerson et al., 1986; Mustin, 1987). Cependant, ces conditions sont instables puisque l'humidité peut varier, l'argile peut se disperser et la matière organique, surtout en milieux arides et semi-arides, sa disponibilité est insuffisante et elle peut se décomposer assez rapidement. Ainsi, il est logique de faire recours aux produits naturels ou artificiels, à condition qu'ils soient non nuisibles, afin de créer une structure stable avec des porosités inter- et intra-agrégats optimales et durables.

Les margines, effluents résultant de l'extraction de l'huile par pression des olives, possèdent des propriétés importantes notamment fertilisantes, compte tenu de leurs teneurs en matière organique et en minéraux (Fiestas Ros de Ursinos et al., 1981; Fiestas Ros de Ursinos, 1986; Pérez et Gallardo-Lara, 1987; Gallardo-Lara et Pérez, 1990; Comité Economique Agricole de l'Olivier, 1992), hydrophobes et liantes (Friaâ, 1981; Friaâ et al., 1986a et 1986b; Mensi et Kallel, 1990).

Dans cet article on présente les résultats expérimentaux des effets de la pulvérisation ensuite l'incorporation des margines sur la stabilité structurale vis-à-vis de l'eau, et de leur seule pulvérisation à la surface du sol sur la susceptibilité à l'érosion hydrique. Ainsi, l'objectif de ce travail est focalisé sur la valorisation des margines, considérées actuellement comme polluantes. Elles sont disponibles en grandes quantités dans le milieu rural tunisien (700 000 m³/an) et les pays méditerranéens (30 millions de m³/an).

Les margines utilisées dans cette étude provenaient d'un moulin à huile classique. Elles sont caractérisées par un pH de 5.3 et une densité de 1.034 Mg/m³. Séchées à l'étuve à 105°C, elles contenaient en moyenne 10.5% de résidu (dont 1% de substance minérale et 9.5% de matière organique y compris 1% d'huile résiduelle déterminés selon la méthode standard décrite par Greenberg et al. (1981)). Comme ce résidu varie d'une huilerie à une autre, il a été considéré comme étant une matière active et a été pris comme référence pour définir les doses à appliquer.

2. Matériels et méthodes

2.1. Margines incorporées

La stabilité des agrégats traités par incorporation des margines a été étudiée en se basant sur le concept du diamètre moyen pesé, exprimé dans la littérature anglo-saxonne comme "the mean weight diameter", qui a été introduit par van Bavel (1949), et son changement, "the change in mean weight diameter", selon la méthode dite de tamisage sous eau de De Leenheer et De Boodt (1959). Cette méthode consiste à comparer la distribution des différentes fractions des agrégats du sol issue du tamisage à sec (état initial) à celle obtenue après un tamisage sous eau (état final). L'inverse du changement du diamètre moyen pesé correspond à l'indice de stabilité. Plus grand est cet indice plus le sol est stable.

Afin de pouvoir évaluer l'efficacité de margines dans la stabilisation structurale selon la texture du sol, l'étude a été menée sur un sable limoneux, un limon sableux et une argile légère. Ils ont été prélevés au niveau de l'horizon de surface (0-30 cm) respectivement de Melle, Nukerke et Sint-Margriete (Belgique). Ces sols ont été choisis car ils permettaient d'avoir une certaine fourchette au niveau de leurs fractions granulométriques tout en ayant une certaine similarité dans leurs teneurs en matière organique (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés.

Caractéristiques		Texture (Classification Belge)		
		Sable limoneux	Limon sableux	Argile légère
Fractions granulo-métriques (%)	0-2mm	7.9	12.3	21.8
	2-50mm	16.2	51.7	29.7
	>50mm	75.9	36.0	48.5
Matière organique (%)		1.73	1.74	2.14
CaCO ₃ (%)		0.24	0.24	6.35
pH (H ₂ O)		5.88	7.37	7.63
CEC (meq/100g)		6.00	9.75	12.55
EC _e (mS/cm)		1580	585	1256

Avec trois répétitions, quatre doses de margines ont été testées envers le témoin: 0.1%, 0.5%, 1.0% et 1.5% du poids du sol en matière sèche, dite aussi active, de margines. Afin d'aboutir à une humidité finale de structuration optimale (*Gabriels et De Boodt, 1972*), les margines ont été diluées dans l'eau déminéralisée. Elles ont été appliquées à l'aide d'un micro-pulvérisateur, ensuite incorporées à l'aide d'un râteau, au niveau des sols (ayant un diamètre inférieur à 2 mm), rapportés préalablement à trois humidités initiales différentes notamment:

- * **1^{ère} humidité initiale:** sol sec à l'air libre,
- * **2^{ème} humidité initiale:** sol à une humidité qui correspond à une tension de -15 bar et dite de "point de flétrissement permanent",
- * **3^{ème} humidité initiale:** sol ayant une humidité qui a été préconisée par *Gabriels et De Boodt (1972)* comme optimale pour une bonne structuration lors du conditionnement du sol. Elle correspond à la tangente à la plus grande courbure de la courbe caractéristique d'humidité du sol en dessèchement. A cette humidité, l'eau forme un film et un ménisque au niveau des particules du sol.

Les échantillons du sol traité ainsi que ceux menés de la même façon mais sans faire appel aux margines, ont été laissés sécher à l'air libre pendant quelques jours puis tamisés à l'aide d'un ensemble de tamis superposés, et permettant l'obtention de sept différentes fractions d'agrégats dont les diamètres étaient compris dans les fourchettes suivantes: 0.00-0.30, 0.30-0.50, 0.50-1.00, 1.00-2.00, 2.00-2.83, 2.83-4.76 et 4.76-8.00 mm.

Moyennant un ensemble de tamis superposés, le tamisage sous eau à immersion douce, effectué en adoptant une distribution spécifique d'agrégats secs constituée respectivement 28%, 32% et 40% des fractions d'agrégats de diamètres supérieur à 2.00 mm qui correspond à un diamètre moyen pesé de 4.44 mm (*De Leenheer et De Boodt, 1959*) et qui traduit la situation moyenne d'un bon lit de germination (*Hofman, 1977*), a permis d'obtenir les sept fractions allant de 0.00 à 8.00 mm et de calculer le diamètre moyen pesé correspondant. Ensuite l'indice de stabilité a été déterminé.

2.2. Margines pulvérisées

Dans le but de déterminer l'effet des margines appliquées par pulvérisation à la surface du sol sur la stabilité structurale, on s'est proposé d'effectuer un test d'érosion du sol en pente sous l'effet de la pluie. Ceci, en raison du fait que le tamisage sous eau n'est pas valable pour l'application de surface des conditionneurs.

Cet essai a été mené sur le sable limoneux compte tenu que sa structure est la plus fragile et que sa texture plus ou moins grossière se rapproche de celle des sols les plus fragiles du centre et du sud de la Tunisie. Ce sont ces régions qui ont l'oléiculture comme une vocation spécifique des terres et qui produisent les margines.

La fraction 2-8 mm du sol sec à l'air, extraite par tamisage à sec du sol (fraction 0-2 mm préalablement humidifiée jusqu'à la teneur en eau optimale de structuration et séchée à l'air), a été mise soigneusement et d'une façon homogène sans aucun compactage dans quatre couples de bacs (20 cm x 55 cm) jumelés, pris comme deux répétitions. Les deux bacs étaient séparés par un panneau pour la collecte du sol érodé par éclaboussure. Chacun d'eux était muni à son aval d'un exutoire pour canaliser l'eau et le sol érodé par ruissellement et d'une buse, située

au niveau du fond fermé, pour la collecte de l'eau de percolation. La densité apparente sèche était d'environ 1 Mg/m^3 . L'épaisseur de la couche du sol était de 4 cm à partir d'une plaque perforée qui a été posée sur un support et couverte d'un morceau de tissu.

A l'aide d'un micro-pulvérisateur, les quatre couples de bacs ont reçu, par pulvérisation à la surface, respectivement 0 g/m^2 (témoin), 10 g/m^2 , 25 g/m^2 et 50 g/m^2 de matière active de margines. Celles-ci ont été préalablement diluées dans l'eau déminéralisée de façon à obtenir l'équivalent de l'humidité finale optimale (Gabriels et De Boodt, 1972) au niveau du premier cm du sol ($H_p = 21\%$).

Comme suggéré par Gabriels et al (1973), les sols ont été séchés à l'air pendant quelques heures puis mis, avec une pente de 30%, sous un simulateur de pluie se trouvant à 2.75 m de hauteur au-dessus de la surface du sol. La durée de chaque essai d'érosion était d'une heure. Par intervalle de cinq minutes les quantités de l'eau percolée et ruisselée (exprimées en ml/m^2 et converties en mm) ainsi que celles du sol érodé (en g/m^2) par ruissellement (S_r) et par éclaboussure (S_e) ont été déterminées. La quantité totale du sol érodé (E_t) a été prise égale à $S_r + 2 S_e$.

En raison de la fluctuation de l'intensité de la pluie, qui a été de $42.2 \pm 2.1 \text{ mm/h}$, les paramètres de l'érosion ont été rapportés par rapport à l'énergie cinétique engendrée par la pluie. Celle-ci a été calculée moyennant la masse de l'eau qui est égale à la pluviométrie reçue pendant un temps considéré (kg/m^2) et la vitesse moyenne d'une goutte d'eau (m/sec) déterminée en se basant sur le diamètre moyen d'une goutte de pluie à l'aide d'un graphique établi par Laws (1941).

3. Résultats et discussions

3.1. L'indice de stabilité structurale

Comme la distribution initiale d'agrégats secs lors du tamisage sous eau était identique, on peut comparer les effets des margines sur la stabilité des trois sols étudiés. Dans ce contexte on admet que la texture est la seule variable.

L'efficacité des margines est la plus importante dans le cas du sable limoneux dont l'indice de stabilité a pu atteindre 3.27 pour la troisième humidité initiale ($H_p = 7.9\%$) alors que pour le limon sableux et l'argile légère il a été respectivement de 1.85 pour la troisième humidité initiale ($H_p = 12.5\%$) et de 2.49 pour la première ($H_p = 1.9\%$). Cette efficacité des margines peut être démontrée, d'une façon explicite, en comparant les améliorations de l'indice de stabilité ($IS_i - IS_0$). Il s'agit de la différence entre les indices de stabilité obtenus respectivement à une dose $i\%$ (IS_i) et à la dose 0% (IS_0), c'est à dire celle du témoin (Figure 1).

Il en ressort que:

- l'efficacité d'amélioration de la stabilité augmente avec l'augmentation de l'humidité initiale d'une façon très nette dans le cas du sable limoneux et dans une moindre mesure pour le limon sableux. Par contre l'inverse est obtenu dans le cas de l'argile légère.

- en plus de l'effet de l'humidité initiale, l'amélioration de la stabilité du sol traité est nettement plus importante dans le cas du sable limoneux que dans le cas des deux autres. Il est à noter que ces résultats donnent aux margines un aspect positif puisqu'elles bonifient et stabilisent, d'une façon remarquable, la structure des sols grossiers ou légers connus pour leur instabilité.

- la dose optimale de margines est située, pour les sols étudiés, entre 0.5% et 1% de matière active par rapport au poids du sol sec. L'humidité initiale optimale lors du conditionnement correspond à la troisième pour le sable limoneux et le limon sableux tandis que l'état sec à l'air conviendrait le mieux pour l'argile légère.

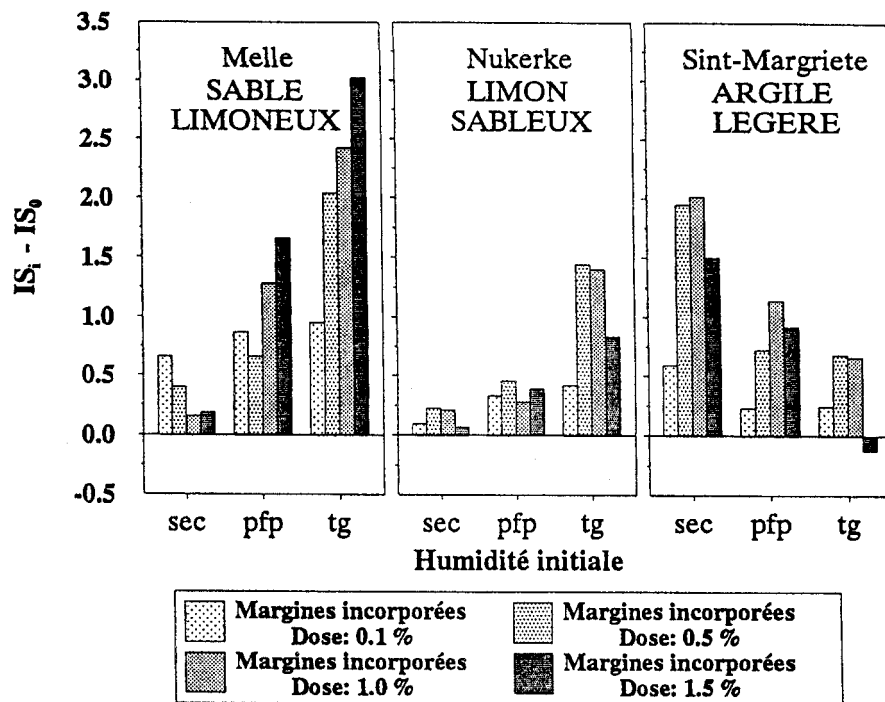


Figure 1 : Amélioration de l'indice de stabilité du sol traité à l'aide des margines par rapport au témoin. sec, pfp et tg correspondent aux trois humidités initiales au moment du conditionnement, respectivement sec à l'air, au point de flétrissement permanent (tension: -15 bar) et à la tangente à la plus grande courbure de la courbe de dessèchement du sol.

Compte tenu du fait que les margines sont des émulsions visqueuses, hydrophobes et liantes (Friaâ, 1981; Friaâ et al., 1986a, 1986b; Mensi et Kallel, 1990), on peut se baser sur l'approche de Gabriels et De Boodt (1972) concernant l'influence de l'humidité initiale au moment du conditionnement du sol sur les mécanismes de la migration et la fixation des émulsions bitumineuses, qui possèdent des propriétés physiques plus ou moins semblables à celles des margines. On peut conclure alors que la stabilité et son amélioration avec l'augmentation de l'humidité initiale du sable limoneux et du limon sableux peuvent être expliquées par une meilleure distribution des margines. Par contre, dans le cas de l'argile légère la meilleure stabilisation, obtenue pour l'état initialement sec, devrait être reliée à la teneur de ce sol en argile. En effet, l'argile, qui est un facteur d'agrégation puissant, a agi selon l'humidité initiale de ce sol, conjointement avec les margines comme liant dans l'agrégation et la stabilité structurale. Ceci nous permet de conclure qu'il existe, lorsque le sol est initialement humide, un taux d'argile critique de 10 à 15%, à partir duquel l'effet stabilisant des margines serait mis en concurrence avec celui de l'argile. Celle-ci, reconnue micro-poreuse, hydrophile et éventuellement gonflante, réduit les possibilités d'une distribution optimale des margines et diminuant ainsi leur efficacité. Par ailleurs, pour démontrer et confirmer l'existence de ce taux critique, nous nous référons aux travaux sur l'effet de la teneur en argile sur la structuration stable d'un sol. En effet, Alisson et Moore (1956) ont relié l'efficacité du conditionnement des sols à la teneur en argile. D'autre part, Laws (1954), en utilisant des mélanges artificiels d'argile, de limon et de sable, ont démontré qu'un minimum d'environ 10% d'argile est essentiel pour obtenir une agrégation stable. Par ailleurs, Hénin et al. (1969) ont étudié l'influence de la texture sur la stabilité structurale. Leurs résultats font apparaître que pour un taux de limon presque constant ($\pm 20\%$) l'amélioration de la stabilité des agrégats > 0.2 mm devient plus importante en augmentant la teneur en argile à partir d'environ 15%. Des taux inférieurs n'engendrent pas d'effet remarquable sur la stabilité. De même, De Boodt (1995) a signalé qu'à partir d'une teneur optimale d'argile comprise entre 10 et 15%, un sol serait mieux structuré et moins sensible à la dispersion.

Enfin, en plus des propriétés hydrophobes et de liants des margines, il est à signaler que l'amélioration de la stabilité des sols traités à l'aide des margines pourrait être également due à une stimulation de l'activité microbiologique dans le sol en présence des margines, comme démontré par Flouri et al. (1990). Celle-ci, en se traduisant par des sécrétions, pourrait avoir un effet favorable sur l'agrégation du sol et sa stabilité.

3.2. L'érosion hydrique

3.2.1. Description du processus

L'analyse des figures 2a, 2b et 2c nous permet de distinguer l'existence de trois phases dans le processus de l'érosion hydrique au cours d'une simulation de pluie:

- **1^{ère} phase:** Au début de la simulation de pluie, la teneur en eau du sol et l'état structural de sa surface facilitent l'infiltration et la rétention de l'eau et réduisent ainsi au minimum la percolation, le ruissellement et le transport du sol. La durée de cette phase dépend de l'humidité initiale du sol. Plus cette dernière est grande, plus courte est la durée de cette phase qu'on pourrait appeler de **pré-érosion**.

- **2^{ème} phase:** Au cours de cette phase les paramètres mesurés se manifestent avec des taux croissants. Elle se prolonge jusqu'à la saturation du sol tandis que la surface se trouve plus ou moins altérée. Cette phase peut être qualifiée comme celle de **transition** et à **régime croissant**.

- **3^{ème} phase:** Elle est caractérisée par des taux maximums de percolation, de ruissellement et d'érosion du sol. Cette phase se maintient à un taux plus ou moins constant jusqu'à la fin de l'événement pluvieux. Elle correspond donc à un **régime maximal**. Il en ressort que l'évolution des différents composantes de l'érosion hydrique (la percolation, le ruissellement et les quantités du sol érodé) en fonction de l'énergie cinétique cumulée a une forme linéaire:

$$Y = A \cdot Ec \text{ (cumulée)} + B$$

Pour obtenir le plus haut coefficient de régression, une suite de calcul d'itération a permis d'identifier le démarrage de la troisième phase ainsi que ses coefficients A et B (Tableau 2). D'après *Gabriels (1974)*, cette relation linéaire décrit la phase effective de l'érosion hydrique et c'est sur celle-ci qu'il faut agir pour conserver l'eau et le sol. Pour l'eau de ruissellement et à la quantité du sol érodé, *Gabriels (1974)* a qualifié le rapport entre la pente A correspondante au sol traité et celle du sol témoin comme le "facteur de réduction de l'érosion".

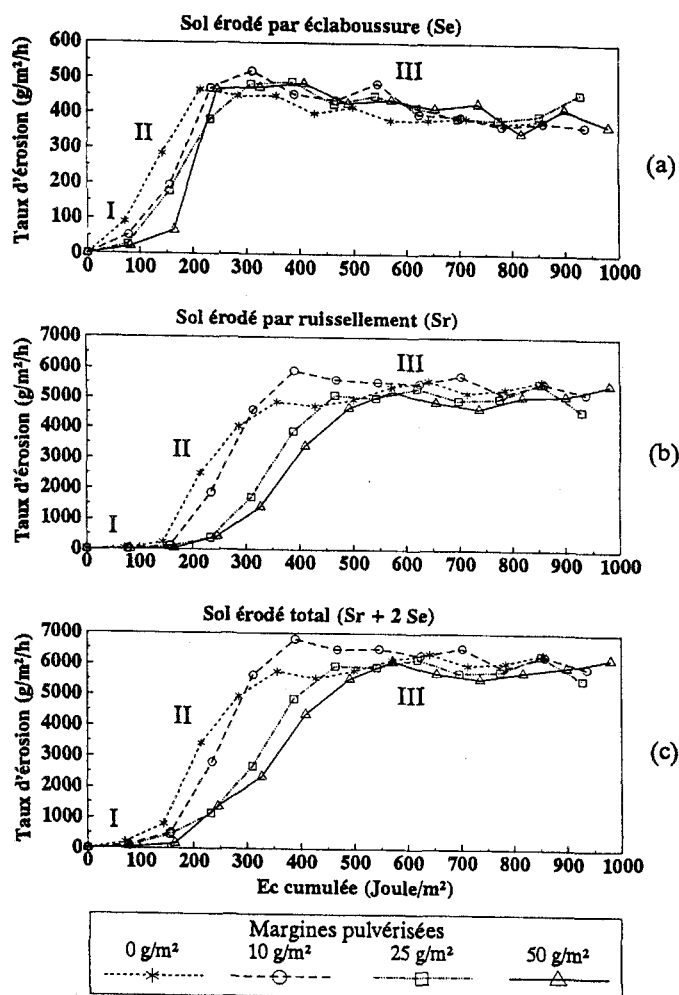


Figure 2: Effet des margines pulvérisées à la surface du sol sur les taux de percolation (a), de ruissellement (b) et du sol érodé (c) en fonction de l'énergie cinétique cumulée durant le processus de l'érosion hydrique, les chiffres romains indiquent les phases de ce processus.

Tableau 2: Valeurs des coefficients des équations linéaires décrivant l'évolution des différents facteurs de l'érosion hydrique en fonction de l'énergie cinétique cumulée pendant la troisième phase identifiée par itération ($E_{c_{III}}$ est l'énergie cinétique cumulée correspondant au démarrage de la troisième phase).

2a Percolation cumulée (mm)

Dose de margines	$E_{c_{III}}$ Joule/m ²	Coefficient et nombre d'observation			
		A	B	R ²	Nbre obs.
Témoin	641.7	0.0126	-4.9558	0.999	4
10 g/m ²	546.4	0.0130	-4.7365	0.999	6
25 g/m ²	464.4	0.0144	-4.7579	0.998	7
50 g/m ²	490.5	0.0157	-4.9742	0.999	7

2b Ruissellement cumulé (mm)

Témoin	356.5	0.0228	-4.2940	0.999	8
10 g/m ²	390.3	0.0224	-4.5876	0.999	8
25 g/m ²	387.0	0.0185	-4.1580	0.999	8
50 g/m ²	408.8	0.0161	-3.6909	0.999	8

2c Quantité totale cumulée du sol érodé (g/m²)

Témoin	356.5	7.0749	-1299.12	0.999	8
100 g/m ²	390.3	6.7011	-1264.62	0.999	8
25 g/m ²	464.4	6.3661	-1688.53	0.999	7
50 g/m ²	490.5	5.9192	-1745.79	0.999	7

3.2.2. Effet des margines sur l'érosion hydrique

Avec l'augmentation de la dose de margines il en est résulté une augmentation de la percolation (Figure 2a) et une réduction du ruissellement (Figure 2b) et du sol érodé (Figure 2c). Cependant, malgré qu'on obtenu des faibles quantités du sol érodé par éclaboussure, cette dernière est à l'origine de l'altération de la couche de surface et par conséquent elle agit sur le ruissellement et les quantités du sol érodé qu'il occasionne.

En ce qui concerne le ruissellement et le sol érodé on constate que, dans le cas du sol conditionné, la première et la seconde phase durent plus longtemps que dans le cas du sol non traité. Autrement dit, il en est résulté un retard dans le démarrage de la troisième phase pour le ruissellement et les quantités du sol érodé et inversement pour la percolation, comme démontré dans les figures 2a, 2b et 2c et le tableau 2. Les résultats du tableau 2 montrent également que, pour le ruissellement les quantités du sol érodé, la pente (A) diminue, c'est à dire le "facteur de réduction de l'érosion" l'est également, en fonction de l'accroissement de la dose des margines. Ce qui confirme l'effet bénéfique du conditionnement dans la réduction du taux de l'érosion au cours de la troisième phase. Il en ressort également l'effet bénéfique de la stabilisation dans le retardement du déclenchement de cette phase.

Ces résultats permettent de conclure que la dose de 25 g/m² de matière active de margines serait la dose optimale pour le sol étudié.

Puisque le déclenchement de la troisième phase est lié principalement à l'altération de la structure de la surface, tout moyen de lutte contre l'érosion hydrique devrait être établi au préalable de façon à prolonger la durée des deux premières phases et également à diminuer les taux d'érosion au cours de la troisième. Afin d'aboutir à cet objectif, la stabilisation structurale de la surface du sol constitue un moyen parmi d'autres techniques dites couramment anti-érosives douces.

4. CONCLUSION

- 1- Les margines incorporées améliorent la structure et consolident les agrégats ainsi formés. L'amélioration de la stabilité structurale la plus importante a été obtenue dans le cas du sol le plus instable par sa nature texturale. En effet, les agrégats formés bénéficient d'appréciables liaisons entre leurs particules et résistent ainsi à l'éclatement (caractère liant des margines). D'autre part ils acquièrent une propriété hydrophobe sans être totalement imperméables (caractère hydrophobe des margines). Ceci permet la réduction de la vitesse d'imbibition des agrégats d'où une réduction de la compression de l'air.
- 2- La dose optimale de margines est située, pour les sols étudiés, entre 0.5% et 1% de matière active par rapport au poids du sol sec. Ceci correspond après conversion en volume pour un mulch traité de 5 à 10 cm d'épaisseur, à une quantité du même ordre que celle recommandée dans la littérature pour l'épandage annuel des margines comme fertilisant (30 m³ de margines, ayant environ 20% de matière active, par ha).
- 3- Pour chaque type de sol, il existe une humidité initiale optimale de structuration et de stabilisation au moment de l'application des margines. Elle correspond, pour les sols dont les teneurs en argile sont < 10 - 15%, à l'humidité pour laquelle se forment un film d'eau autour des particules et un ménisque entre elles. Lorsque le taux d'argile dans le sol dépasse environ 15%, la micro-porosité, l'hydrophilie et éventuellement le gonflement de celle-ci peuvent empêcher une distribution optimale des margines. Il est donc recommandé d'effectuer le conditionnement de ces sols lorsqu'ils sont secs ou relativement à faible humidité. Cependant, en réalité ce type de sol ne nécessite pas un traitement de stabilisation structurale aux margines.
- 4- Les margines pulvérisées sur la surface du sol forment un enrobage au niveau des surfaces de contact des agrégats. Cet enrobage est sensible à l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui peuvent arracher les particules périphériques des agrégats (éclaboussure) éliminant ainsi partiellement ou totalement la protection formée lors de la pulvérisation des margines. Cette sensibilité diminue en fonction de l'accroissement de la dose de margines appliquée.
- 5- La dose de 25 g/m² de matière active de margines (soit l'équivalent de 2.4 m³/ha de margines) serait la dose optimale pour le sol étudié (sable limoneux).
- 6- On a distingué l'existence de trois phases dans le processus de l'érosion hydrique, notamment une phase de **pré-érosion**, suivie d'une phase de transition à **régime croissant** et enfin une troisième phase dite à **régime maximal**. Ainsi, les techniques anti-érosives devraient être établies au préalable de façon à prolonger la durée des deux premières phases, c'est à dire retarder le déclenchement de la troisième phase et également à diminuer les taux d'érosion de celle-ci.

En dépit des résultats prometteurs apportés par ce travail, nous pensons que le sujet de l'épandage des margines, comme conditionneur naturel, est loin d'être épuisé. Il reste en effet de confirmer ces résultats in situ en Tunisie et dans le bassin méditerranéen où l'olivier constitue un arbre spécifique du paysage agricole. Une étude économique devrait finalement être réalisée pour évaluer le bilan financier de cette technique.

Bien que la littérature ait démontré que l'épandage des quantités contrôlées de margines comme fertilisant avait des incidences positives sur les cultures et une absence de toxicité au niveau du sol, et partant d'un objectif visant la conservation des ressources naturelles et du fait que la profession oléicole devrait consister en un respect de l'environnement, il est nécessaire d'envisager des études afin d'identifier les effets à long terme sur les caractéristiques hydrodynamique, biochimique et microbiologique d'une telle opération.

Enfin, les résultats obtenus laissent espérer leur application particulièrement au niveau des oliveraies. **Les effets des margines dans l'amélioration de l'agrégation et la stabilité structurale, plus importants dans le cas des sols à texture grossière à moyenne, permettent d'envisager des recherches sur l'épandage de ce sous-produit pour la fixation des dunes de sables.** En effet, *Khatteli (1996)* a bien souligné les incidences de l'érosion éolienne au sud tunisien, notamment l'ensablement et le déchaussement des oliviers. Si des résultats positifs se réalisent, le slogan "*de l'olivier à l'olivier*" pourrait alors être vulgarisé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- Comité Economique Agricole de l'Olivier (France), 1992. La fertilisation à base de margines. Document technique édité avec l'appui de l'Agence de l'Eau de la Région Provence-Alpes d'Azur et la Société Interprofessionnelle des Oléagineux. 8 p.
- De Boodt M., 1995. Models of particle aggregation and their usefulness. *Int. Agrophysics*, 9, pp. 11-17.
- De Boodt M., Vandeveld F. and Bisschop F., 1970. The slaking of tilled soils, a major problem on mechanized farms, possible ways of solving it. *Proc. Int. Conf. Tillage Res. Methods, Silsoe*, pp. 93-109.
- De Leenheer L. and De Boodt M., 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Proceedings of the International Symposium on Soil Structure, Ghent 1958. Mededelingen der Rijkslandbouwhogeschool, Gent, XXIV*, pp. 290-300.
- Emerson W. W., Foster R. C. and Oades J. M., 1986. Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. In *Interaction of soil minerals with natural organics and microbes*, HUANG P. M. and SCHNITZER M. (Eds). *Soil Sci. Soc. Am., Spec. Pub. No. 17*, pp. 521-548.
- Fiestas Ros de Ursinos J. A., 1986. Posibilidades de utilización del alpechin como fertilizante. In *Simposio Internatinal sobre valorizacion de los subproductos del olivar: alpechin y orujo. 5-7 Marzo 1986, Sevilla, Espana*, pp. 48.
- Fiestas Ros de Ursinos J. A. et collaborateurs, 1981. Différentes utilisations des margines : Recherches en cours, résultats obtenus et applications, In : *Séminaire International sur la valorisation des sous produits de l'olivier - Monastir - Tunisie, 15-17 Déc. 1981*, pp. 93-110, Eds. PNUD/FAO, Madrid - Espagne, 1983.
- Flouri F., Chatijpavidis I., Balis C., Servis D. and Tjerakis C., 1990. Effect of olive oil mills liquid wastes on soil fertility. In *International Reunion for the Treatment of olive oil waste effluents - Cordoba - Spain, May 31 - June 1, 1990*. 11p.
- Friaâ A., 1981. Perspectives d'utilisation de la margine en génie civil (Résumé). *Séminaire sur la valorisation des sous produits de l'olivier - Monastir - Tunisie, 15-17 Déc. 1981*, 5p.
- Friaâ A., Mensi R. et Kallel A., 1986a. Application of vegetation water in civil engineering - Soil treatment with vegetation water. *International Symposium on Olive by-Products Valorization, Seville - Spain, March 1986*, pp. 263-273.
- Friaâ A., Mensi R. et Kallel A., 1986b. Briques de terre stabilisées à la margine - Matériaux de construction pour un habitat économique. *Joint Symp. on Use of vegetable plants and fibres as building materials. Baghdad - Iraq, 7-9 Oct. 1986*, pp. E95-E102.
- Gabriels D., 1974. Studie van het watererosieproces door middel van regenvalsimulatie op al dan niet kunstmatig gestructureerde gronden. Proefschrift tot het verkrijgen van graad van doctor in de Landbouwkundige Wetenschappen, *Fakulteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit gent, Belgie*, 188 p.
- Gabriels D. and De Boodt M., 1972. Theoretical and practical approach for determining the optimal moisture content at the moment of soil conditioning. *Mitteilgn. Dtsch. Boenkundl. Gesellsch.*, 15, pp. 185-203.
- Gabriels D., De Boodt M. and Minjauw W., 1973. Description of a rainfall simulator for erosion studies. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*, 37, pp. 294-303.
- Gallardo-Lara F. and Pérez J. D., 1990. Direct, delayed and residual effects of applied wastewater from olive processing on nitrogen and phosphorus availability in the soil-plant system. *J. Environ. Sci. Health, B25 (3)*, pp. 379-394.
- Greenberg A. E. (APHA), Connors J. J. (AWWA) and Jenkins D. (WPCF), 1981. Standard methods for examination of water and wastewater., 15th edition prepared and published jointly by : American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), 1134 p.
- Hartmann R. and De Boodt M., 1974. The influence of the moisture content, texture and organic matter on the aggregation of sandy and loamy soils. *Geoderma*, 11, pp. 53-62.
- Hénin S., Gras R. et Monnier G., 1969. Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques (2^{ème} édition). MASSON ET C^{ie} (Ed.), Paris. 332 p.
- Hofman G., 1977. L'instabilité de la structure et sa valeur pour l'étude de la fertilité physique du sol. *Med. Fak. Landbouww., Rijksuniv., Gent*, 42, pp. 255-290.
- Khatteli H., 1996. Erosion éolienne en Tunisie aride et désertique. Analyse des processus et recherches des moyens de lutte. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Appliquées: Aménagement des Terres et des Forêts. *Faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées de l'Université de Gand - Belgique*. 180 p.

- Laws J. O., 1941. Measurements of the fall-velocity of water drops and raindrops. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 22, pp. 709-721.
- Laws W. D., 1954. The influence of soil properties on effectiveness of synthetic soil conditioners. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18, pp. 378-381.
- Mensi R. et Kallel A., 1990. Utilisation de la margine dans la construction des routes et des pistes agricoles. *Annales de l'équipement*, vol. I, No. 1, pp. 61-68, ENIT, Tunis-Tunisie.
- M'Hiri A., 1978. Sur la stabilisation artificielle des sols. *Annales de l'INRAT*, Vol. 51, Fasc. 1, 20p, INRAT, Tunis-Tunisie.
- Mustin M., 1987. *Le compost*. Editions François DUBUSC, Paris - France. 954 p.
- Pérez J. D. and Gallardo-Lara F., 1987. Effect of the application of wastewater from olive processing on soil nitrogen transformation. *Soil Sci. Plant Anal.*, 18 (9), pp. 1031-1039.
- van Bavel C. M. H., 1949. The mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* (1950), 14, pp. 20-23.

ETUDE DE L'EFFET DE LA POSIDONIE (*POSIDONIA OCEANICA*) SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS

Houcine TAAMALLAH
Institut des Régions Arides

RESUME

S'agissant d'un produit avec des quantités relativement importantes tout le long des côtes tunisiennes, la posidonie (*Posidonia oceanica*) peut-elle constituer une source de matière organique essentiellement dans les zones arides où le fumier fait défaut? Pour cela, une série d'expérimentations a été réalisée à l'Institut des Régions Arides visant à tester la possibilité d'utilisation de ce produit sans aucun traitement préalable. Il en découle que l'application de la posidonie en tant qu'amendement sous sa forme actuelle (soumise à une décomposition naturelle sans lavage ni addition d'engrais azotés) améliore les propriétés physiques du sol (structure, capacité de rétention en eau) mais elle augmente la conductivité du sol et influe par conséquent négativement sur les rendements des cultures.

Mots clés: Fertilisation, engrais, posidonie, rendement, sol.

SUMMARY

This study dealt with the possibilities of use posidonie (*Posidonia oceanica*), which is produced in huge quantities on the tunisian coasts, as an organic matter amendment of the arid soils without any preliminary processing. The results of the experiments conducted at the "Institut des Régions Arides" have shown that the application of this product without washing or addition of nitrogen improved the physical properties of the soils (structure, water retention capacity) but increased its electric conductivity which would have negative impacts on the crops yields.

1-INTRODUCTION

En Tunisie et depuis quelques décennies, la pratique des cultures intensives a connu un développement de plus en plus important. Actuellement, de nombreuses régions du sud tunisien sont concernées par cette intensification suite à la mobilisation de nouvelles ressources hydriques notamment les eaux géothermales d'une part et d'autres par les encouragements et les subventions de certaines spéculations par l'état.

Néanmoins, de nombreuses contraintes d'ordre technique entravent l'amélioration et l'intensification des cultures. Parmi ces contraintes, les ressources en matières organiques sont dans la plupart des temps insuffisantes pour restituer au sol un stock convenable d'humus. D'autre part, l'irrigation avec des eaux chargées conduit généralement à la salinisation des sols ce qui engendre une détérioration de la structure, une dégradation lente de la matière organique et une stérilisation progressive des sols.

Compte tenu de ces problèmes et de l'importance du rôle joué par la matière organique dans la nutrition de cultures et la structuration des sols, la recherche de nouvelles sources de fumures organiques s'impose. Des travaux de recherches ont été réalisés et ont intéressés principalement l'étude de la possibilité d'utilisation de la Posidonie (*Posidonia océanica*) comme substrat de culture. En effet, vu l'importance des quantités de ce produit rejetées par la mer chaque année, de nombreux essais visant son utilisation comme nouvelles sources de matières organiques susceptibles de compléter voire remplacer les apports organiques classiques, ont été entrepris (Verlodt & Mougou, 1996; Ben Abdallah, 1983...).

Cependant, un amendement à base de posidonie sans aucun traitement préalable est-il capable d'augmenter la fertilité du sol et d'améliorer la productivité des cultures? Dans ce travail, nous avons essayé de répondre à cette question en entamant une série d'expérimentation au laboratoire dans l'espoir de passer par la suite à l'échelle grandeur nature.

Dans une première partie, nous passerons en revue certaines analyses bibliographiques se rapportant au sujet et par la suite nous présentons les protocoles expérimentaux réalisés et nous discutons les principaux résultats obtenus.

2-Analyses bibliographiques

2-1- Aperçu général sur la posidonie

La posidonie est une phanérogame marine appartenant à la famille des graminées. Elle ressemble à la paille écrasée. Sa feuille est très mince avec une épaisseur inférieure à 0,1 mm et une largeur inférieure à 1 mm. Sa longueur est variable et peut atteindre les 40 à 50 cm.

Ce produit est rejeté par la mer chaque année en quantités plus ou moins importantes surtout pendant l'hiver et le printemps. Nous ne disposons pas d'évaluation précise de la production totale en posidonie, mais vu l'étendue des côtes tunisiennes (1200 Kms) on peut estimer que sa production est importante et pourrait constituer une source de matière organique appréciable.

2.2- Composition chimique de la posidonie:

L'analyse chimique de la posidonie prélevée de plusieurs endroits et à différents états a été réalisée au laboratoire d'analyse de la végétation de l'Institut des Régions Arides. Le tableau n°1 montre la composition moyenne en % de la matière sèche.

Tableau n°1 : Composition moyenne de la posidonie en comparaison avec celle de la paille des céréales (en % de la matière sèche).

Composition	C/N	M.S. (%)	M.M.((%)	M.O. (%)	M.A.T((%)	P	K	Na	Ca
Produit									
Posidonie	69,2	93,45	31,8	68,2	3,57	0,022	3,25	1,78	4,58
Paille (mélange blé-orge)	118,28	94,3	6,95	93,05	2,85	0,065	1,4	0,39	0,4

On constate à première vue que la posidonie est plus riche en potassium, calcium et sodium. Elle est pauvre en phosphore et en azote comme la paille cependant elle présente un rapport C/N plus faible que celui de la paille est par conséquent une décomposition plus rapide.

La comparaison de la composition minérale des feuilles lavées et celle non lavées permet de voir que les sels sont essentiellement adsorbés et n'entrent pas dans la composition interne (Saïdane, 1979).

2.3-Utilisation de la posidonie en agriculture:

Les études se rapportant à ce sujet ont intéressé principalement l'utilisation de la Posidonie sous forme de compost:

- Certains essais ont montré qu'un mélange se composant de 80% de compost de posidonie avec 20% de compost de feuilles de chêne-liège permettait de fabriquer des mottes pressées de bonne qualité (VERLODT et MOUGOU, 1978).

-Les bonnes qualités physiques du compost à base de ces graminées marines ont été mise en évidence par SAIDANE(1979). Les premiers résultats de l'utilisation de ce compost comme substrat pour une culture de tomate de primeur cultivée en sac boudin ont permis de constater que l'addition d'une quantité de matière organique sous forme de paille permettait d'améliorer les résultats, surtout que la culture dans un compost de graminées marines pures manifeste assez rapidement des nécroses foliaires marginales (CHEBIL, 1980). L'addition de 25% de fumier dans le substrat à base de posidonie a permis de maîtriser ces nécroses marginales, tandis que l'addition d'un engrais à action lente (type osmocote) a permis d'améliorer la qualité des fruits.

- Les dernières expériences ont permis de conclure que la culture de tomate de primeur en sac boudin, en utilisant un substrat à base de posidonie est possible dans la pratique. les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant des sacs de grand volume (45 litres) remplis d'un substrat se composant d'un compost de posidonie additionné de 10% de fumier de ferme bien décomposé.

Cette culture a permis d'obtenir un rendement précoce et supérieur à celui du témoin. la précocité semble surtout être due à une température favorable au niveau des racines en début de culture, ce qui favorise à la fois l'activité racinaire, le développement végétatif et la fructification (Kammoun, 1981).

- Une étude menée par BEN ABDALLAH (1983) a montré que la réutilisation du substrat avait permis l'amélioration de la récolte totale. Le substrat en troisième année d'utilisation pourrait donner les meilleurs rendements à conditions de veiller au lavage des sels au départ et à l'addition de 10 à 20% de fumier bien décomposé et certains engrais phosphatés (Rapport de la station de Nebhana, 1986).

3. Partie expérimentale

3.1. Matériels et méthodes

3.1.1. Matériels

* Le sol:

Le sol utilisé dans cette expérimentation a été prélevé de l'Institut des Régions Arides. Ses principales caractéristiques physico-chimiques se résument dans le tableau n°2.

Tableau n°2: Caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Granulométrie %					Calcaire %		M.O. %	C.E. mS/cm	pH
A	L	LG	SF	SG	Total	Actif			
2,5	6	8,85	79,15	2,98	13,3	4	0,46	4,21	7,9

*Fumure organique:

Nous avons utilisé quatre types de fumier:

- fumier ovin-caprin (T1) pris de la bergerie de l'IRA, ce fumier est un mélange de déjections des ovins et des caprins et ayant environ trois ans de décomposition.
- fumier bovin (T2): prélevé du C.F.R.A.Medenine, sa durée de décomposition est de deux ans.
- fumier camelin (T3): pris de l'I.R.A. Medenine, et ayant trois ans de décomposition.
- posidonie (T4): prise de Jorf-Jerba, la décomposition a été mise en fosse de décomposition légèrement couverte de terre et gardée pendant deux années. Nous estimons que cette période est suffisante pour la lixiviation des sels par les eaux de pluies et la décomposition naturelle du produit. Les résultats de l'analyse chimique de ce dernier figurent dans le tableau n°3.

Tableau n°3: Composition chimique de la posidonie en % MS.

MS	MM	MO	MAT	C/N	K	Na	Ca	P
94,16	38,2	61,8	3,66	61,67	3,02	1,38	5,28	0,02

*L'orge:

Le matériel végétal choisi pour l'expérimentation est l'orge de la population Ardhaoui. Il est précoce et bien adapté aux conditions arides de la région.

3.1.2- Méthodes:

*Préparation des mélanges:

Dans la totalité des essais et afin d'avoir un bon brassage et une bonne homogénéisation des mélanges sol-fumure, nous avons procédé au séchage naturel des échantillons de sol et de fumier. Les doses appliquées pour chaque type de fumier sont les suivantes:

D₀ : sans fumier(témoin)

D₁ : 10 T/ha

D₂ : 30 T/ha

Pour réaliser les expérimentations, nous avons utilisé des pots de 3 Kg de capacité dans lesquels nous avons mené des essais relatifs à l'effet de la posidonie sur la rétention en eau, sur la salinisation du sol et sur la production de l'orge. Pour cela nous avons utilisé un dispositif Split-plot comportant 3 blocs, 4 traitements avec trois doses différentes de fumure.

Notons, finalement, que nous avons veillé à ce que les pots soient maintenus dans les mêmes conditions climatiques durant toute l'expérience.

*Caractéristiques chimiques des mélanges:

Pour connaître le potentiel nutritif des différents mélanges, des analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire Eau-Sol de l'I.R.A. Les résultats obtenus se trouvent dans le tableau n°4.

Tableau n°4 : Résultats d'analyses chimiques des mélanges.

Composition	C %	M.O. %	N %	C/N	C.E. mS/cm	HCO ₃ me/l	SO ₄ ⁼ me/l	Cl ⁻ me/l	CO ₃ ⁼ me/l	Ca ²⁺ me/l	Mg ²⁺ me/l	Na ⁺ me/l
Mélange F. sol												
Sol témoin	0,27	0,46	0,084	3,21	4,21	5,2	56	5	0	28,3	32	4
Mélange ovin D1	0,3	0,57	0,086	3,48	3,31	4	32	5	0	25	14	5
Mélange ovin D2	0,37	0,638	0,09	4,11	3,13	4	28	10	0	22	18	4
Mélange bovin D1	0,31	0,53	0,112	2,76	3,07	3,2	28	5	0	21,25	14,75	3
Mélange bovin D2	0,4	0,69	0,12	3,33	3,65	4	32	5	0,25	21,25	15	5,5
Mélange camelin D1	0,3	0,51	0,091	3,29	4,17	2,4	54	5	0	24	29	5,5
Mélange camelin D2	0,35	0,6	0,106	3,3	3,96	4	28	15	0	20	19	7
Posidonie D1	0,28	0,48	0,088	3,18	6,9	4	27	20	0	21,25	22,75	7,5
Posidonie D2	0,32	0,55	0,102	3,13	8,45	2	57,5	35	0,8	10	12	20

Nous remarquons alors que le rapport C/N dans tous les mélanges est inférieur à 10 indiquant une activité biologique qui favorise une décomposition rapide de la matière organique. Cependant, l'apport de la posidonie a augmenté la conductivité électrique qui est passée de 4mS/cm à environ 7mS/cm.

***Semaille:**

Après la préparation des mélanges (sol- fumier), nous avons appliqué une pré-irrigation. Le semis, avec une densité de 100 kg/ha, a eu lieu le 28/1/90. A ce propos, nous signalons que:

-le semis a été effectué quelques jours après l'apport du fumier ce qui ne laisse pas le temps pour l'humification et la minéralisation. Toutefois, il faut signaler que le rapport C/N est inférieur à 10 et que le pH du sol est légèrement alcalin ce qui favorise une décomposition rapide des amendements organiques. Se basant sur ces critères, nous avons réalisé le semis quelques jours après l'incorporation du fumier.

le semis était alors trop tardif ce qui aura des incidences multiples sur la croissance et le développement ultérieur de la culture.

***Conduite et entretien de la culture:**

La levée des plantules a été totale et homogène 7 jours après le semis. Les pots ont été soumis aux mêmes conditions climatiques et recevant les mêmes quantités d'eau. Concernant ce dernier paramètre nous avons essayé de simuler les conditions arides et nous avons donné une quantité d'environ 130 mm durant tout le cycle de végétation. La période de retour est variable non seulement en fonction des conditions climatiques mais également selon les phases de développement de la culture.

Signalons finalement qu'après un mois de culture, nous avons remarqué un jaunissement des feuilles de base qui pourrait être attribué d'une part à la chaleur intense et d'autre part au semis tardif. C'est pourquoi nous étions amenés à comparer les différents traitements en fonction de leur production en matière sèche.

3.2. Résultats et discussions:

3.2.1. Cycle végétatif:

Les principaux critères à prendre en considération sont le nombre de feuilles et le nombre de talles. La hauteur a été négligée car elle dépend beaucoup plus des caractéristiques variétales. Les relevés de ces paramètres ont été réalisés deux fois : 30 et 55 jours après le semis. La fig. n°1. illustre cette évolution exprimée en fonction du nombre moyen des feuilles ou de talles par pot et par traitement.

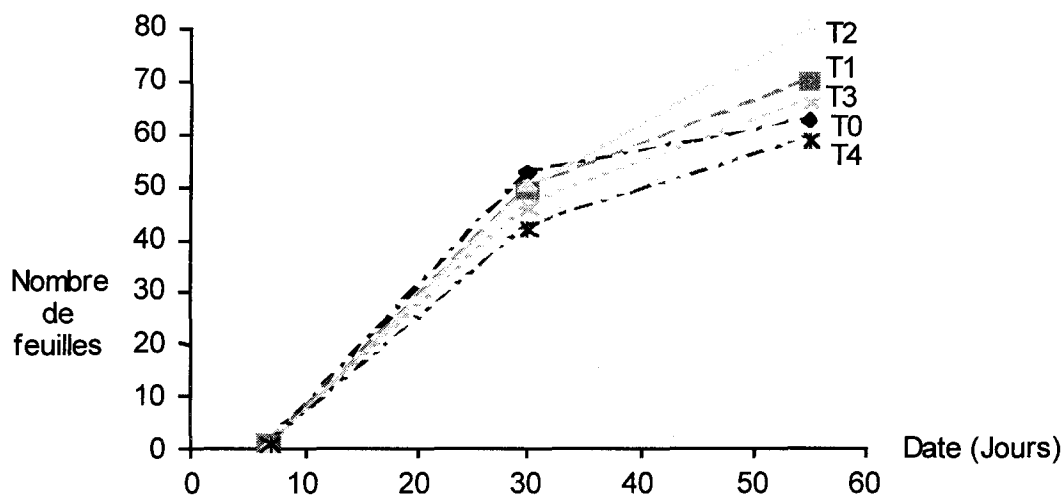


Fig n°1 : Evolution du nombre moyen des feuilles /pot/traitement.

Les différences entre les plantes n'ont pu être décelées qu'après 20 à 30 jours où l'état végétatif commence à se différencier d'un mélange à l'autre. Ceci est dû probablement à l'entrée en décomposition et à la minéralisation de la matière organique appliquée. La figure n°1 montre qu'à la dose D2 et entre le fumier bovin (T2) et l'amendement à base de posidonie (T4) la différence devient significative. Les traitements T1 et T3 (ovins et camelin) ont des valeurs intermédiaires. Par ailleurs, au niveau du nombre de talles, la différence la différence entre T2 et T4 est hautement significative. Par contre, entre T0, T3 et T4 la différence n'est pas significative.

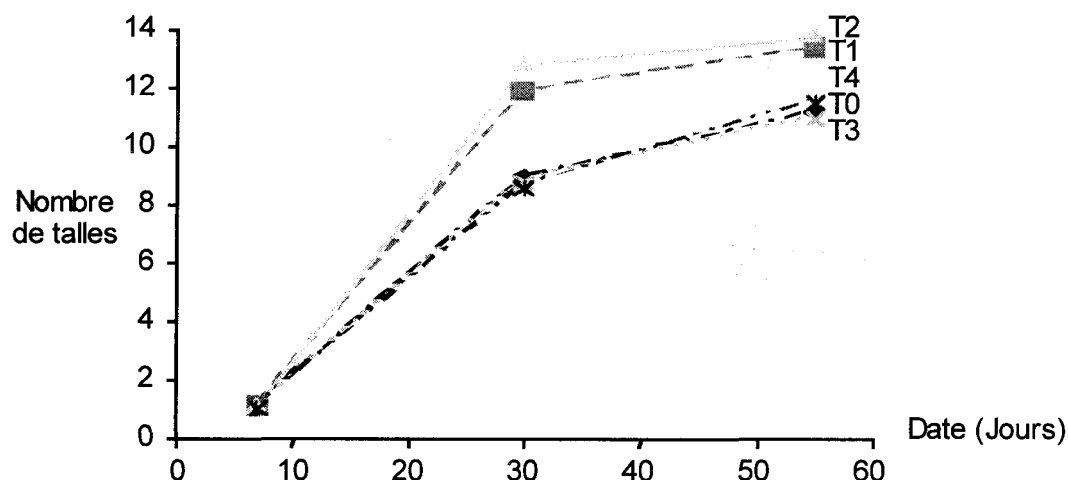


Fig n°2 : Evolution du nombre moyen de talles /pot/traitement

3.2.2.Effet des amendements sur la production de l'orge

*Parties aériennes

Après 65 jours de croissance dans les mêmes conditions climatiques et sous le même régime d'irrigation, nous avons réalisé une première coupe. Les moyennes par traitement et par dose sont représentées dans fig.3.

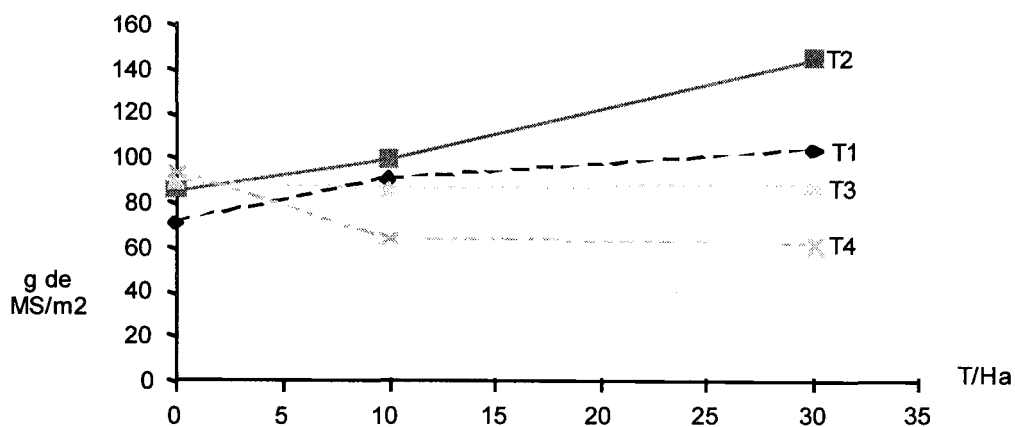


fig.3 : Rendements des parties aériennes (g de MS/ m2)

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative aussi bien entre la variable fumure qu'entre l'interaction fumure*dose. Cependant, pour les variables dose et bloc, la différence est non significative.

Nous constatons ainsi (Fig n°4) d'après le test de NEWMEN et KEULS qu'il n'y a pas de différence significative entre les quatre traitements à la dose D0. Par contre à la dose D1, il y a une différence entre T1, T2, T3 qui constituent un groupe homogène et T4 qui constitue un autre groupe. Quant à la dose D2, on distingue

trois groupes différents classés comme suit : $T2 > T1 - T3 - T0 > T4$. Il en découle que le traitement par posidonie (T4) donne le rendement le plus faible quel que soit la dose appliquée.

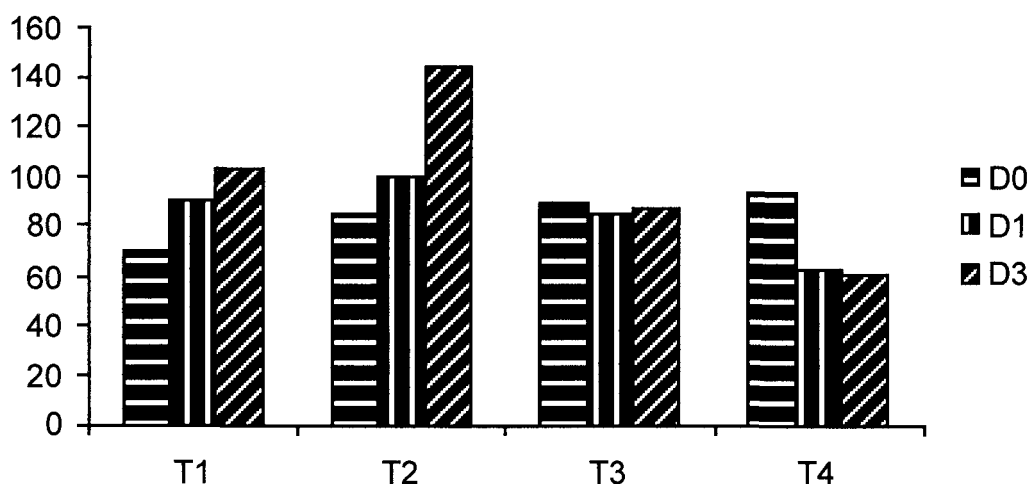


Fig4 : Rendement des parties aériennes (en g de MS/m²)

***Parties souterraines:**

Après avoir effectué la coupe des parties aériennes, l'arrosage se faisait de la même fréquence dans le but de réaliser une deuxième coupe. Malheureusement, après 25 jours, les pousses ont été trop faibles probablement à cause du semis tardif et de la chaleur intense. Nous étions, alors obligés de nous limiter à la première coupe et de passer à l'étude de système racinaire.

Le diagnostic du système racinaire nous a permis de remarquer que la distribution est générale. Néanmoins quelques déformations dues à la culture en pot ont été observées. L'interprétation de l'état du système racinaire est un peu délicate car dans ces conditions l'état des racines ne détermine pas rigoureusement celui des parties aériennes.

Pour évaluer l'importance de la partie souterraine nous avons quantifié le poids des racines en grammes du poids sec par m². Les productions moyennes par traitement et par doses sont représentées dans les fig n°5 et n°6.

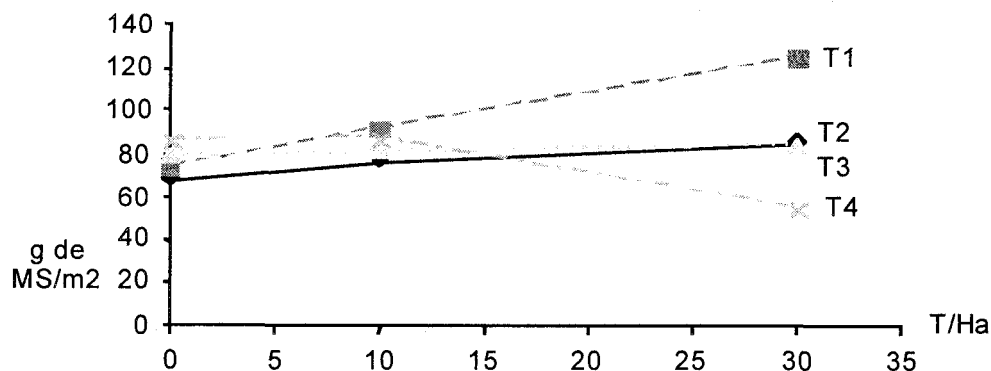


Fig n°5 : Poids moyens des racines (g de MS/m²)

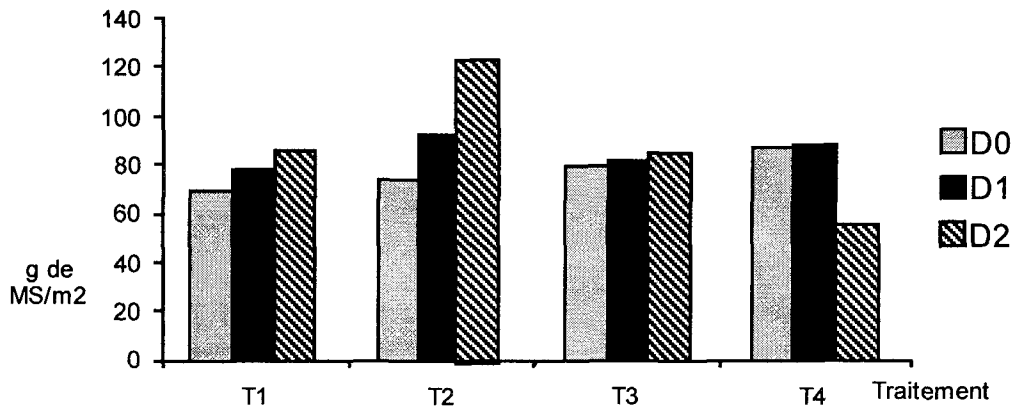


Fig n° 6 : Poids moyen des racines (g de MS/m²)

Le traitement statistique des résultats obtenus a permis de montrer que l'interaction fumure*dose est très autrement significatives. En effet, nous avons remarqué qu'il n'existe pas de différence significative entre les doses D0 et D1 pour les quatre types de fumier qui constituent un seul groupe homogène. Par contre, à la dose D2 les différences sont énormes et trois groupes apparaissent et se classent en fonction de leurs moyennes dans l'ordre suivant : T2 > T1-T3-T0 > T4

En conclusion, l'analyse globale de cet essai montre surtout que l'interaction fumier-dose est toujours hautement significative. Le fumier bovin est, par conséquent, meilleur suivi de celui des ovins et de camélins. En revanche, l'amendement à base de posidonie fournit les rendements les plus faibles (environ les 2/3 de celui de témoin).

3.2.3. L'effet de la posidonie sur la rétention en eau:

L'eau est le plus souvent le facteur limitant de la productivité. Elle constitue par l'intermédiaire des solutions des sols la base essentielle de l'alimentation de la plante. Il convient donc d'étudier à ce propos dans quelle mesure l'utilisation de la posidonie comme amendement organique serait possible pour accroître les réserves en eau du sol.

Dans cet esprit, nous avons utilisé des mélanges avec la posidonie à différents niveaux d'enrichissement (0, 10 et 30 tonnes par hectare), par le fumier bovin et la posidonie. Après séchage des mélanges, les mêmes quantités d'eau ont été apportées pour chaque traitement. ces différents traitements ont été soumis au mêmes régime hydrique et climatique pour ne déceler que les différences dans la rétention de l'eau.

par des pesées quotidiennes à la même heure et sur la base du poids initiale nous avons calculé la quantité d'eau perdue par évaporation.

D'après les résultats cumulés et représentés dans la figure n°7, nous avons constaté que les mélanges à base de posidonie retiennent plus d'eau que le témoin et le fumier bovin. cette augmentation de la rétention en eau est due à une amélioration des propriétés physiques du sol (porosités...).

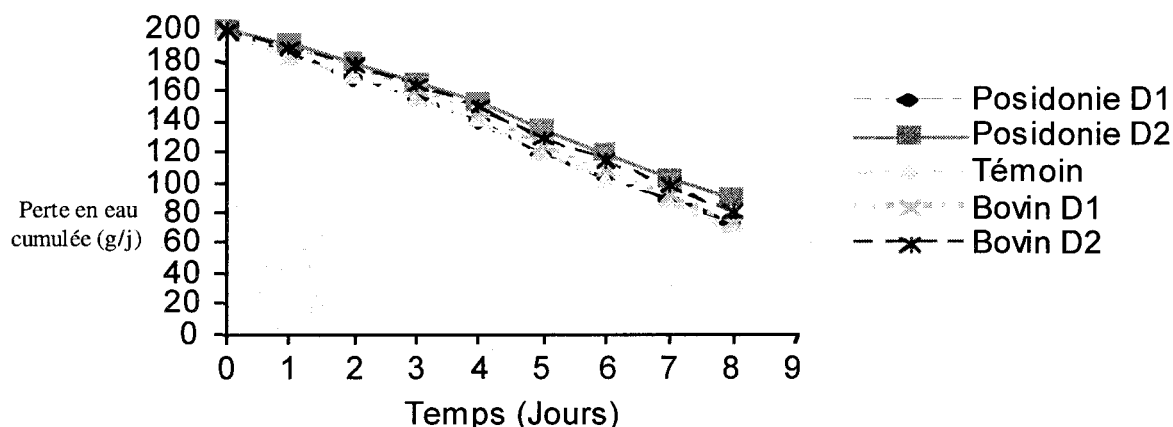


Fig 7 : Quantités moyennes d'eaux perdues/ traitement (g/jours)

3.2.4. Suivi de la dynamique des sels dans le sol:

Dans le but de suivre la dynamique des sels dans nos essais nous avons réalisé trois prélèvements à des dates différentes et nous avons mesuré la conductivité électrique de chaque échantillon. Les résultats exprimés en mS/cm se résume ainsi:

Traitement	Témoin	Posidonie D1	Posidonie D2
- Au semi	4.21	6.90	8.45
- 2 mois après semis	4.01	6.65	8.26
- 3.5 mois après semi	3.86	6.41	7.92

A partir de ces données nous pouvons constater que l'amendement par posidonie apporte au sol des quantités importantes de sels. Ces apports augmentent avec la dose appliquée. On remarque également que la conductivité diminue en fonction du temps suite à la lixiviation des sels par les eaux d'irrigation.

3.2.5. Analyses des sols après culture:

Dans le but de savoir le devenir de composés organiques incorporés dans le sol une deuxième série d'analyses chimiques a été faite après extraction de la partie aérienne et souterraine. Pour l'analyse du bilan ionique, on s'est limité aux mélanges de D2. les résultats obtenus figurent dans le tableau n°5.

Tableau n°5 : Résultats d'analyses chimiques des mélanges après culture:

Composition	C%	MO%	N%	C/N final	C/N	CE mS/cm	HCO ₃ me/l	SO ₄ me/l	Cl me/l	CO ₃ me/l	Ca me/l	Mg me/l	Na me/l	K me/l
Mélange F. sol														
Sol témoin	0.06	0.103	0.030	2.00	3,21	12.8	2	45.0	84.0	0	35.5	26.5	70.0	1.05
Mélange ovin D1	0.125	0.215	0.056	2.23	3,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mélange ovin D2	0.2	0.345	0.112	1.78	4,11	12	4	38	84.0	0	38.5	20.0	67.5	1
Mélange bovin D1	0.2	0.345	0.10	2.00	2,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mélange bovin D2	0.25	0.431	0.112	2.23	3,33	12	4	41	105	0	38.0	28.8	79	2.2
Mélange camelin D1	0.12	0.20	0.056	2.14	3,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mélange camelin D2	0.18	0.31	0.058	3.09	3,3	14.4	5	34.5	120	0	39	31	85	1.5
Posidonie D1	0.22	0.38	0.084	2.60	3,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Posidonie D2	0.26	0.448	0.084	3.09	3,13	15.6	5	22.5	136	0	53.5	37	90	1.9

D'après ces analyses, nous pouvons remarquer une diminution du taux de matière organique, malgré les fines radicelles qui peuvent rester dans le sol après l'extraction des racines. Par contre, les teneurs en azote total ne présentent pas une grande variation malgré les exportations par la culture. Le rapport C/N a enregistré à son tour une légère baisse, exception faite pour les mélanges à base de posidonie ce qui explique une mauvaise décomposition et par conséquent un rapport C/N presque constant.

La comparaison de la salinité du sol avant et à la fin de culture montre une augmentation de la conductivité électrique due à l'irrigation par une eau chargée (3.12 g/l de résidu sec) ce qui est à l'origine d'une augmentation des teneurs en Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺.

3.2.6. Diagnostic foliaire

Le diagnostic foliaire a intéressé les plantes récoltées à partir des sols amendés à la dose D2 (30T/ha), où la différence entre les rendements était hautement significative. Les résultats moyens obtenus en % de la matière sèche figurent dans le tableau n°6.

Tableau n°6 : Composition chimique des parties aériennes de l'orge

Compositions Fumier	MO %	MM %	MAT %	N %	K %	Ca %	Na %
Témoin	90,77	9,23	2,48	0,39	1,224	0,064	0,216
Mélange F. ovin	90,80	9,20	2,55	0,40	1,432	0,060	0,260
Mélange F.bovin	90,83	9,17	2,67	0,42	1,510	0,051	0,250
Mélange F. camelin	90,77	9,23	2,58	0,41	1,080	1,066	0,252
Mélange Posidonie	90,68	9,32	2,40	0,38	1,110	0,060	0,340

Ces résultats montrent que les plantes fertilisées par la posidonie sont riches en Na et relativement pauvres en Ca et K par rapport aux autres traitements. Les plantes se trouvent sur le mélange de fumier ont une teneur faible en Na et élevée en K et Ca. Par contre, la variation des teneurs en azote est faible pour tous les traitements.

3. Interpretation des résultats

A partir du rythme de développement végétatif de la culture d'orge et de l'analyse des rendements en poids secs des parties aériennes et racinaires, nous constatons que tous les résultats obtenus mènent à la même conclusion : par opposition à l'amendement à base de posidonie, le fumier bovin a favorisé un bon développement et a donné une meilleure production en orge en vert. Alors que les résultats obtenus à partir des fumiers ovins et camelins occupent des valeurs intermédiaires.

La combinaison des analyses du sol, de l'eau d'irrigation et des végétaux permet d'établir un diagnostic correct et peut expliquer les causes des variations entre les traitements. Les fortes teneurs de la solution du sol en Na et Cl provoquent d'une part un enrichissement considérable des plantes en Na et d'autre part une diminution de la teneur en K, Ca et en azote. Cette faible teneur en azote est due probablement à une accumulation de Cl.

Une comparaison de la composition chimique des plantes cultivées sur mélange du fumier bovin et celles cultivées sur sol enrichi avec la posidonie montre que les premières sont riches en azote et en potassium et pauvres en Na. Au contraire, les plantes cultivées sur sol fertilisé avec la posidonie ont des teneurs élevées en Na et faibles en potassium et en azote. L'analyse chimique des plantes fertilisées avec ce même produit montre une composition de 0.34 % en Na atteignant ainsi un niveau caractéristique d'une toxicité par le sodium selon l'échelle établie par la F.A.O. en 1976 qui qualifie de toxique les teneurs en Na comprises entre 0.25% et 0.5%. Cette toxicité due au sodium provoque en plus des difficultés d'absorption de l'eau, un déséquilibre dans l'alimentation minérale.

Hofman (1976) a relié la chute des rendements de l'orge en vert en fonction de la conductivité électrique du sol de la façon suivante :

Conductivité électrique en mS/cm	8	10	13	18
Diminution de la production en %	0	10	25	50

Dans notre essai, la conductivité électrique du mélange à base de posidonie est de 15.6 mS/cm soit selon ces normes une diminution de 35 à 45 % du rendement ce qui explique les mauvais rendements obtenus en comparaison avec le témoin.

De ce qui précède, on peut conclure que :

- Le fumier bovin a fourni les meilleurs rendements, puisqu'il est le plus riche en azote et ayant une décomposition rapide.

- Le fumier ovins-caprins est théoriquement le plus riche mais mis à l'état libre durant trois ans dans des conditions particulières, il peut subir une décomposition permettant la lixiviation de certains éléments par les eaux pluviales.

- Le rendement des plantes qui poussent sur sols fertilisés par le fumier camelins est comparable à celui des plantes cultivées sur mélange à base de fumier ovine. toutefois, la composition chimique des plantes et de la solution du sol montre une teneur importante en sels. Ces sels pourraient provenir de la végétation halophyte fréquemment consommée par les camelins.

-Concernant l'amendement à base de posidonie, le mauvais développement des plantes et les faibles rendements obtenus par rapport au témoin sont à l'origine de sa richesse en sels. Ces derniers agissent d'une part sur la décomposition de la matière organique du sol et d'autre part en réduisant l'alimentation des plantes en eau et en éléments nutritifs.

4. Conclusion

Les résultats relatifs à l'utilisation de la posidonie comme amendement organique se résument comme suit :

- La posidonie améliore les propriétés physiques du sol notamment par l'augmentation de la porosité, de la perméabilité et de la capacité de rétention en eau du sol ce qui confirme le travail de SAIDANE(1979).

-La posidonie est pauvre en phosphore, en azote et sa décomposition est lente. Sa richesse en sels provoque pour les plantes des difficultés d'absorption d'eau et des antagonismes dans l'assimilation des minéraux (Ca, Mg, K, N et indirectement le P).

De ce fait, l'application de la posidonie en tant qu'amendement sous sa forme actuelle (soumise à une décomposition naturelle sans lavage ni addition d'un engrais azoté), bien qu'elle améliore les propriétés physiques du sol, elle n'apporte que du sodium qui provoque la salinisation du sol et influe négativement sur le rendement des cultures. Une telle salinité influe sur la disponibilité de l'eau suite à l'augmentation du potentiel osmotique.

Ces résultats sont préliminaires et certains aspects méritent d'être approfondis à savoir l'utilisation de ce produit sous forme de compost comme une autre éventualité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Belgacem. (1986) : Contribution à l'étude de la bonification des sols sableux par un amendement argileux. Mémoire de troisième cycle de l'INAT.
- Ben Abdallah A. (1983) : Possibilités de l'utilisation du substrat à base de *posidonia oceanica*. Mémoire de second cycle de l'INAT.
- Duchoufour & Souchier (1976) : précis de pédologie. Edit. Masson.
- F.A.O. (1976) : La qualité de l'eau en irrigation. Bulletin d'irrigation et de drainage n°29 Edit. F.A.O.
- Heller H. (1969) : Biologie végétale Tome II : nutrition et métabolisme.
- Taamallah H. (1984) : Contribution à l'étude de l'effet d'un épandage de boue à la surface du sol sur l'évaporation de l'eau et la mobilité de certains métaux lourds. Mémoire du second cycle de l'INAT.
- Verloot H. & Saidane A. (1976) : Cité dans le rapport de la station d'appui de Nabhana Publication agricole n°6 de 1986

INFLUENCE DES TECHNIQUES CULTURALES SUR L'ÉROSION ET LE RUISSELLEMENT (CAS DU SUD AVEYRON FRANCE)

Moussa Mohamed *, G. DE Noni **, E. Roose**, J.F. Nouvelot****

RESUME

L'étude des phénomènes de ruissellement, de transport solide et d'érosion a été menée dans l'Aveyron (piedmont méditerranéen de la façade sud de la France). L'utilisation intensive des terres pour l'élevage ovin, proximité des caves Roquefort, a provoqué une accélération des phénomènes de dégradation des sols.

Pour aborder le diagnostic de ce processus, nous avons simulé des séries de pluies dans le cadre de quatre pratiques culturales suivantes :

- le semis direct ;
- un labour conventionnel suivi de 2 hersages ;
- un labour, 2 hersages et 2 passages de rouleau *cultipacker* ;
- un travail simplifié (passage vibroculteur suivi de 2 hersages).

Chaque traitement a reçu trois averses de 60 mm h⁻¹, le protocole suivi comprenait une première pluie sur sol sec, simulant la saison sèche, une seconde pluie, 24h après la précédente simulant la saison humide et une troisième pluie une heure après reproduisant les conditions de la fin de saison humide.

Les résultats obtenus montrent que :

- l'état de surface évolue en cours d'averse ;
- le passage fréquent des engins agricoles modifie la structure des sols ;
- les pertes en terre sont très fortes sur les parcelles nues tassées au *cultipacker* ;
- le semis direct est peu érodible, ce qui permet de dire que la suppression du labour est un moyen de lutte contre l'érosion hydrique dans les Rougiers de Camarès (sud Aveyron) et elle permet de réduire le nombre de passage des engins au strict minimum, limitant ainsi la destruction du sol et permettant une économie en main d'oeuvre et en énergie.

Cette technique de simulation de pluies pourra être appliquée en zones arides caractérisées par la variabilité et la torréalité du régime pluviométrique.

Mots clés : précipitation, ruissellement, simulation, travail du sol, érosion hydrique, techniques culturales, pertes en terre.

SUMMARY

A study of the phenomena of run-off, earth movement and erosion, was carried out in the Rougiers de Camarès, as intensive sheep-rearing (proximity to cellars of Roquefort) has accelerated soil degradation. Consequently, we focused attention on the study of the impact of various cultivation practices, typical of the region, on the genesis of run-off and erosion. To this effect, we used original experimental methods eg. simulation of rain.

The ORSTOM rain simulator allowed application of a constant intensity of 60 mm. h⁻¹ on plots of 1 m² for 30 minutes, corresponding to a period of 10 years. The protocol comprised an initial rainfall on dry soil, simulating the dry season, a second rainfall, 24 hours after the first, simulating the rainy season and finally a third rainfall, one hour later, reproducing conditions at the end of the four cultivation practices studied.

This type of experiment show that:

- the condition of the surface evolves over the course of rainfall;
- the frequent passage of agricultural machinery modifies the structure of the soil ;
- there is marked loss of soil on bare plots packed down with a *cultipacker*;
- direct sowing is little prone to erosion, which permits us to ascertain that the prevention of ploughing is one way of fighting hydric erosion in the Rougiers de Camarès, albeit that run-off would continue to be extensive and that water must be managed on a slope basis.

*IRA Medenine

** ORSTOM Montpellier

*** ORSTOM Equateur

Priority must be given to making farmers aware of these phenomena, so that they may understand that erosion is not inevitable and that by improving water management, biomass and soil fertility and using anti-erosion structures (hedgerows), the landscape may be sustained longer.

Keywords : Rougiers - Rainfall - simulation - pounding - run-off - working the soil - erosion hydric - soil management.

INTRODUCTION

Depuis une trentaine d'années le département de l'Aveyron est l'objet d'un déséquilibre au niveau de l'espace physique (érosion des sols) et de l'activité agricole (augmentation des coûts de production et baisse des produits agricoles).

La présente étude se situe dans les Rougiers de Camarès (sud Aveyron). Cette zone couvre une superficie totale de 170 000 ha dont 75 000 ha de surface agricole utile, traversée par deux principaux cours d'eau : La Sorgue et le Dourdou. En dehors de cette zone alluviale, les paysages sont fortement marqués par l'empreinte de l'érosion où on rencontre une alternance des couches des schistes plus ou moins durs et des couches tendres d'argile plus épaisses de couleur rouge.

Les Rougiers de Camarès sont caractérisés par une topographie irrégulière. Les collines et les coteaux ont des pentes qui varient de 10 à 50 %. Les zones vallonnées constituent la majeure partie des paysages où le ruissellement est actif.

1. Processus et facteurs d'érosion dans les rougiers de camarès:

Pris dans la spirale infernale de la compétition laitière, les exploitants agricoles n'ont pas fait cas, durant de nombreuses années, des problèmes d'érosion des sols. Un début cependant de prise en compte de risque émerge depuis peu comme le montre un diagnostic effectué par H. KAGONE (1992) sur les préoccupations des agriculteurs des Rougiers de Camarès. Les éléments suivants ont été répertoriés :

- Un déséquilibre sol-troupeau, ajouté à une faible production autonome liée à la faible capacité du sol à produire (faible stockage d'eau des sols peu épais ou caillouteux).

- et pour la première fois une érosion mécanique et chimique due surtout aux pratiques culturales, causant une perte de nutriments et une baisse de fertilité des sols, ce qui entraîne une réduction de la surface agricole utile (zones où les sols ont été décapés jusqu'à la roche, laquelle doit être localement broyée et retravaillée par un grand nombre de façons culturales).

1.1 Les phénomènes d'érosion

1.1.1 Description et conséquences

Sur les Rougiers de Camarès l'érosion touche plus de 80 % du territoire et constitue un obstacle à la mise en valeur des terres agricoles en plus du climat, des sols et de la végétation, l'action de l'homme est déterminant. Nous avons observé trois formes d'érosion :

- une érosion en nappe, qui touche les zones cultivées et les zones en friches caractérisée par un lent décapage sélectif de la surface du sol mettant à nu les éléments grossiers non transportables.

- une érosion en griffe, rigoles ou en ravines caractérisée par des incisions linéaires qui correspondent à des écoulements concentrés bien localisés et où peuvent circuler des quantités importantes d'eau et des sédiments. Les travaux agricoles font parfois disparaître ces indices, mais l'emplacement des ravines ou des rigoles reste reconnaissable surtout sur les ruptures de pente où l'érosion régressive est très active.

- une érosion mécanique sèche où le transport des particules est provoqué par l'utilisation des outils de travail du sol : c'est une érosion en masse, sans modification de texture et qui aboutit au décapage non sélectif de la couverture pédologique des hauts de pentes. Il provoque des accumulations de terre à la limite des parcelles, au rupture de pente et au pieds des versants.

Sur les Rougiers de Camarès, le phénomène d'érosion se manifeste chaque année pendant les épisodes pluvieux printaniers, lorsque les sols sont encore peu couverts ou lors des violents orages de fin d'été et d'automne sur les champs finement préparés pour le semis de printemps (passage de *cultipacker*).

Les conséquences de l'érosion se traduisent par :

- une perte de capital sol qui se traduit par une réduction de l'épaisseur de la couche arable et par une diminution de la fertilité des sols et de leurs stocks en matières organiques ;

- une baisse de rendement des cultures ;

- un lessivage interne du sol en éléments fins qui entraîne la concentration des éléments grossiers en surface (squelettisation de la couche superficielle) ;

- comblement des réseaux de drainage.

1.1.2 L'environnement physique et humain

Les précipitations et leur ruissellement sur le sol constituent les facteurs créateurs de l'érosion ; les autres facteurs (nature du sol, pente, végétation et surtout l'action de l'homme qui peut modifier cet agencement initial...) interviennent également pour limiter ou le plus souvent accélérer le phénomène.

1.1.2.1 Environnement climatique

La moyenne de la hauteur pluviométrique annuelle est de $\cong 824$ mm. La courbe de distribution pluviométrique moyenne mensuelle met en relief la relative sécheresse au cours de l'année des mois de juin, juillet, août et même septembre. Le rapport entre le mois le plus sec et le mois le plus pluvieux est supérieur à 0,6. L'élément fondamental pour l'érosion est l'intensité de la pluie, celle-ci semble modérée pour la région : l'intensité maximale de fréquence décennale est de l'ordre de 60 mm/h pendant une heure ; c'est cette intensité qui sera utilisée au cours de l'expérimentation de simulation de pluie.

1.1.2.2 Environnement humain

Il est important de replacer l'évolution actuelle de la zone dans son contexte historique qui a amplifié, bien involontairement, les causes humaines à l'érosion telles que par exemple :

- les pratiques agricoles tels que le défoncement des affleurements de schiste et le défrichement des coteaux maigres où la couche arable n'atteint que 20 à 30 cm d'épaisseur ;
- la suppression des haies dans le but d'agrandir les parcelles pour la culture motorisée ;
- les rotations rapides sur les Rougiers entraînant un retournement fréquent et un affinage poussé au *cultipacker* de la terre et par conséquent plusieurs passages des engins agricoles (3 à 4 labours suivis de 2 à 4 passages de herbes rotatives et de *cultipacker* sur 4 années dans certains cas).

2. Expérimentation (simulation de pluie)

2.1 Parcelle d'expérimentation

la parcelle agricole, qui nous a servi de site d'expérimentation, est caractérisée par des coteaux dits maigres où l'érosion est très active et une pente moyenne de 20 % représentative de la région.

Compte tenu de l'agriculture de cette zone, nous avons retenu les quatre situations expérimentales suivantes :

- S1 : semis direct SD ;
- S2 : travail classique sans *cultipacker* en bas de versant (labour + 2 hersages : L+2H) ;
- S3 : travail classique avec *cultipacker* (labour + 2hersages + passage de *cultipacker* : L+H+*cpk*) ;
- S4 : travail simplifié (vibroculteur + 2 hersages : Ts).

Le climat, chaud et humide régnant à cette époque, a provoqué la coloration en rouge des sols, riches en oxydes de fer. Cette couleur, dominante dans le paysage, a donné son nom aux Rougiers. Actuellement, les sols sont caractérisés par :

- un pH légèrement alcalin, grâce aux apports de chaux ;
- une texture sablo-argileuse sur le haut de versant où l'érosion est active, et plus argileuse au pied des pentes où se produisent les phénomènes de sédimentation et d'atterrissement ;
- une roche facilement altérable sensible aux fortes variations de températures (action de l'eau, du gel et de la chaleur). L'alternance gel-dégel provoque l'éclatement facile des schistes en particulier et fournit ainsi des matériaux transportables par le ruissellement.

2.2 Description des dispositifs de mesure et d'observations

2.2.1 La simulation de pluie

Le principe de base d'une campagne de simulation de pluie est d'étudier le comportement du sol à l'énergie du gouttes de pluie et d'évaluer le rôle des états de surface par les mécanismes d'infiltration et de ruissellement. Nous nous proposons d'utiliser cet outil dans les Rougiers pour :

- caractériser l'érodibilité des sols, la capacité d'infiltration, les risques de ruissellement et la détachabilité en fonction de quatre traitements culturels différents ;
- déterminer, parmi les situations testées, le type de traitement le mieux adapté à la lutte contre l'érosion.

2.2.2 Mini simulateur de pluie

Le mini simulateur est constitué d'un système d'arrosage fixé au sommet d'une tour en forme de tronc de pyramide. Le système d'arrosage est constitué d'un gicleur calibré, soumis à un mouvement de balancement (reglé par une commande électronique).

2.3 Protocole utilisé

Le protocole utilisé est basé sur la simulation d'une pluie d'intensité constante de 60mm.h¹. Rapportée à une durée de 30 mn, cette intensité correspond à un temps de retour de 10 ans (fréquence décennale pour la zone du Rougiers).

Afin d'étudier, le rôle de l'humidité du sol, cette intensité est répétée trois fois sur chaque site, de la manière suivante :

- une première pluie sur un sol sec, présentant des conditions proches de celles rencontrées lors d'une saison sèche ;
- la seconde pluie intervient 24 heures après, pour simuler le début de saison humide ;
- puis la troisième pluie, intervient une heure après la précédente, simulant une épisode très humides sur des sols engorgés.

2.3.1 Facteurs physiques

2.3.1.1 Les états de surface

En zone cultivée, les états de surface évoluent plus vite que dans le milieu naturel. Pour suivre leur évolution sur les différents sites retenus, nous avons utilisé une méthode simple qui consiste à fixer des repères de façon à pouvoir observer et noter au cours du temps, toujours aux mêmes point, l'évolution de l'état de surface. Quatre transects perpendiculairement à la pente ont été, ainsi, effectués sur chaque parcelle de 1m².

Pour cela, grâce à une règle graduée a été noté, tous les deux centimètres, le type de surface élémentaire rencontré.

Ces observations permettent de quantifier dans le temps, sur chaque site, le pourcentage de surface fermée (=S des pellicules de battance, croûte de sédimentation, cailloux), de surface ouverte (=S des mottes < 1 cm, mottes < 3 cm, mottes > 3 cm et trous de vers de terre) et de surface couverte (litière).

Quatre périodes différentes ont été retenues pour effectuer les observations :

- avant la première pluie simulée ;
- avant la deuxième pluie simulée ;
- avant la troisième pluie simulée ;
- après la troisième pluie.

2.3.1.2 La rugosité

La rugosité du sol se caractérise par la présence des mottes et des cailloux à la surface, créant des obstacles à l'agressivité des gouttes de pluie et au ruissellement. Elle est mesurée à l'aide d'une chaînette, qui est déposée sur la parcelle de 1 m² le long de chaque profil sélectionné. Les variations de longueur mesurées permettent de suivre l'évolution du micro-relief.

Cette mesure est répétée quatre fois tous les 20 cm par parcelle.

Outre la caractérisation des états de surface et de la rugosité du sol, la démarche a comporté :

- la mesure de l'intensité de ruissellement et de transports solides provoqués par les trois pluies à intensité contrôlée ;
- la mesure des paramètres descriptifs des propriétés physiques du sol, avant et après chaque pluie simulée, tels que état d'humectation, densité apparente et mesure de la capacité d'infiltration à l'intérieur d'un anneau de 10 cm de diamètre.

2.3.2 Etude de l'infiltration et du ruissellement

2.3.2.1 La dynamique de l'eau

Au cours d'une averse d'intensité constante, quatre phases peuvent être observées :

1- Phase d'imbibition

Notée P_i , elle exprime la hauteur de la pluie qui tombe sur la parcelle avant que tout ruissellement ne commence. Au cours de cette phase, la capacité d'infiltration est en tous points supérieure à l'intensité du pluie qui parvient au sol.

2- Régime transitoire

Durant cette phase, l'humidité du sol augmente, les agrégats de surface sont pulvérisés par l'impact des gouttes de pluie, les pores sont colmatés par les particules fines et l'infiltration diminue ; ainsi il se forme des flaques qui finissent par déborder et donnent naissance au ruissellement en filets et en nappes.

3- Régime permanent

Durant cette phase, l'intensité de ruissellement se stabilise et atteint un palier de débit relativement constant jusqu'à la fin de l'averse.

4- Phase de vidange

Lorsque la pluie s'arrête, le ruissellement continue, la quantité d'eau qui s'écoule représente la fraction non infiltrée de la détention superficielle mobilisable ou récupérable

2.3.2.2 Perte en terre

La turbidité représente la charge solide par unité de volume d'eau ruissel_e, exprim_e en $g.l^{-1}$: $C. (g.l^{-1}) = \frac{\text{Poids recueilli}}{\text{volume ruisselé}}$

Mesurée sur une surface de un m^2 seulement, la perte en terre ne représente que le détachement provoqué par l'impact des gouttes de pluie (effet *splash*) sur le sol. Ce phénomène est à l'origine des modifications affectant les états de surface.

Par analogie avec les hydrogrammes qui représentent la variation du débit en fonction du temps, les turbidigrammes permettent de suivre les variations de la concentration en matières solides, exprimé en $g.l^{-1}$.

Nous avons déterminé plusieurs paramètres explicatifs telsque Pi, C et Kr (coefficient de ruissellement) et C.

2.4 Résultats obtenues

2.4.1 Les états de surface

De cette étude, il ressort que :

- le semis direct n'est pas concerné par cette mesure car la surface d'étude est enherbée quasi complètement;
- dès la fin de la première pluie, le sol atteint son niveau de fermeture définitif (qui représente 40 à 50 %) ceci concerne les parcelles labourées, hersées ou tassées au *cultipacker* ;
- par contre, le travail simplifié au vibroculteur avec hersage garde le sol relativement ouvert. La surface encroûtée, par la battance, ne dépasse pas 30 %, car il reste encore une quantité importante de mottes enherbées ;
- corrélativement, la surface ouverte diminue de 30 % à moins de 5 % dès la fin de la première pluie sur les terrains labourés et hersés ou compactés ;
- toutes les parcelles étudiées, sauf le semis direct, présentent une rugosité faible dès le début des simulations (5 à 20 %), ce qui témoigne d'une instabilité structurelle.

D'après les mesures faites avant et après chaque simulation de pluie, il ressort que le travail simplifié présente la plus forte rugosité, qui malgré tout décroît progressivement jusqu'à atteindre 15 % au bout de la troisième pluie. Cette meilleure stabilité est due au fait que les touffes d'herbes et leurs racines permettent aux mottes de garder une certaine cohésion.

- par contre, le passage du *cultipacker* réduit sensiblement la rugosité du sol avant même la première pluie, sa valeur reste stable durant toute l'expérimentation (de l'ordre de 5 %) ;

- pour le labour avec hersage, la rugosité atteint 5 à 10 % au bout de la deuxième pluie à partir de laquelle elle reste stable.

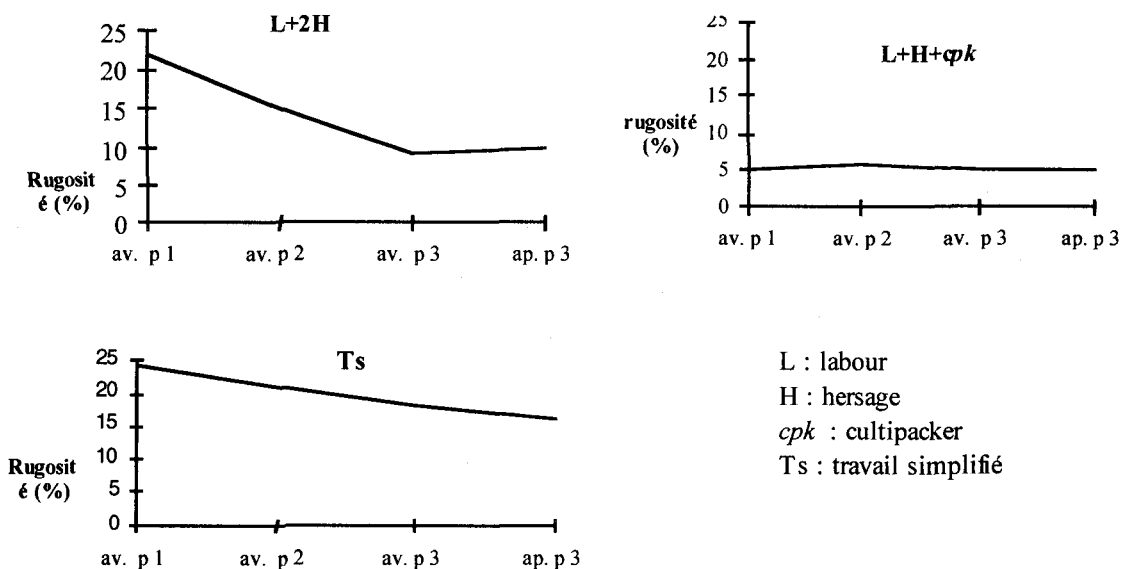


Fig. 1 : Evolution de la rugosité : avant et après chaque pluie

2.4.2 Analyse et interprétation des hydrogrammes

L'examen des hydrogrammes de chaque pluie nous a conduit à étudier le comportement de chaque site (fig : 2) :

1ère série de pluie

Le tableau suivant y récapitule les principaux résultats hydrodynamiques et de transport solide obtenus sur les sites testés :

	1ère simulation de pluie				
	Hp av p1 (%)	Pi (mm)	Kr (%)	C. (g/l)	Kr max (%)
SD	15,27	21,82	8,21	0,4	46,10
L+2H	14,20	≥ 30	0,00	0,00	0,00
L+H+cpk	12,09	25,22	2,53	6,97	17,80
Ts	14,68	≥ 30	0,00	0,00	0,00

Tout d'abord il faut signaler que les conditions d'humidité du sol, pour cette première pluie sont relativement proches d'un site à l'autre, elle varie de 11 à 15 %.

La phase d'imbibition est plus au moins lente, ce n'est qu'à partir de 16 minutes pour le semis direct et de 20 mn pour le L+H+cpk que le ruissellement a commencé à apparaître ; il reste peu intense tout au long de la durée de l'essai, les valeurs extrêmes fluctuent de 8 à 28 mm. h⁻¹ sur le semis direct et de 8 à 11 mm. h⁻¹ sur le labour + *cultipacker*, les valeurs des coefficients de ruissellement globaux sont : $Kr_{SD} \cong 8 \%$ et $Kr_{L+cpk} \cong 2,5 \%$. Dans aucun des cas l'écoulement superficiel ne fonctionne en régime permanent.

Par ailleurs, la parcelle labourée et la parcelle travaillée d'une façon simplifiée n'ont pas ruisselé. Pour le L+2H, nous avons observé des formations de flaques à partir du 13^{ème} minute et pour le Ts il suffit de 5 mn ; pourtant nous n'avons pas eu de ruissellement, ceci s'explique par le fait que, durant cette première simulation de pluie, la rugosité du sol due au labour a permis de piéger l'eau dans les dépressions du sol (favorisant ainsi l'infiltration).

Malgré tout, sous l'effet du *splash* les agrégats de surface sont pulvérisés par l'impact des gouttes de pluie, les pores sont alors colmatées par les particules fines et l'infiltrabilité tend à diminuer jusqu'à un minimum, d'où la formation de flaques d'eau.

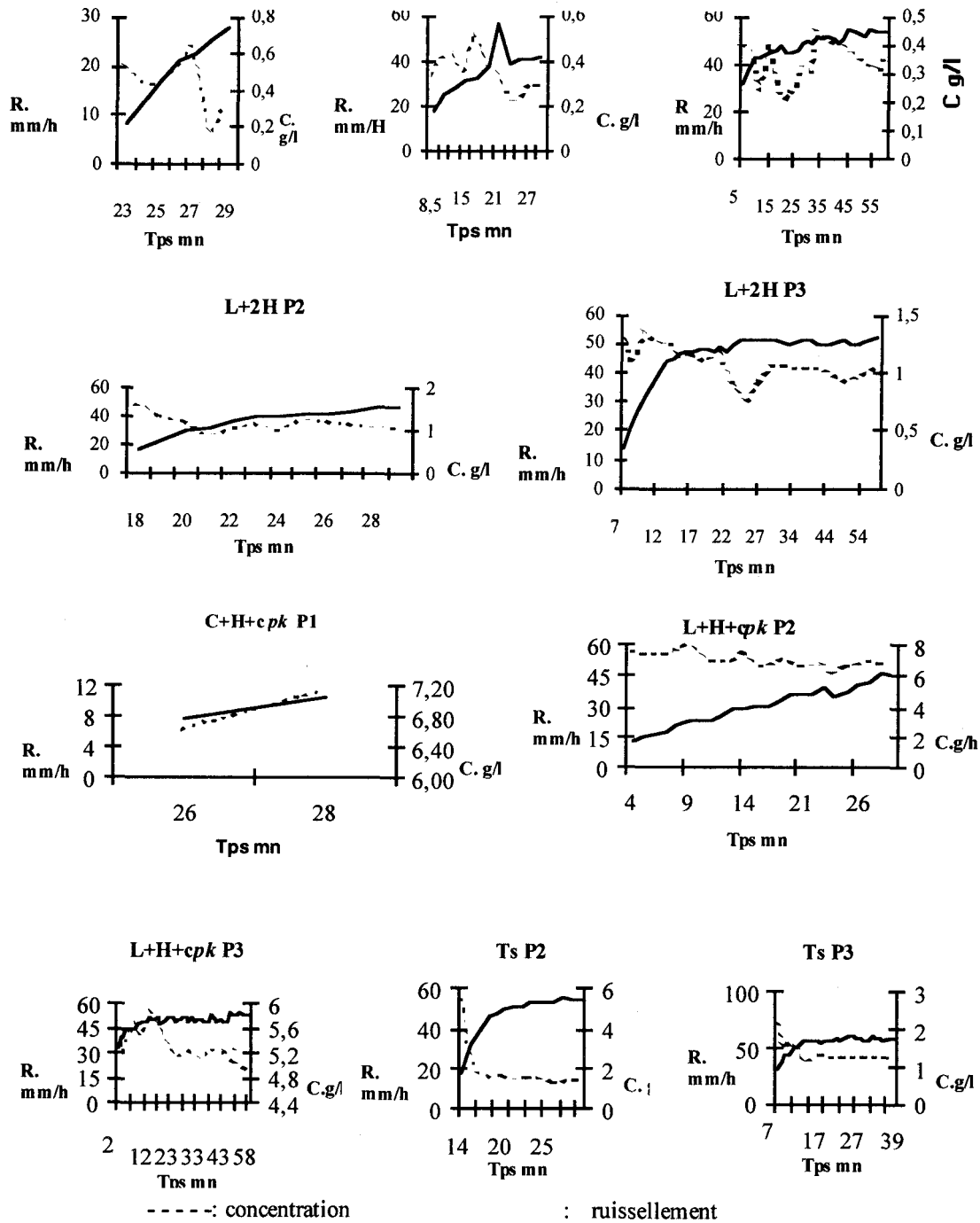


Fig 2 : Variations du ruissellement et des concentrations en fonction du temps

Durant cette première pluie le régime transitoire n'est jamais atteint (fig.2).

2ème série de pluie

La seconde simulation de pluie intervient 24 heures après la première, les conditions d'humidité ne sont plus les mêmes (le tableau suivant récapitule les principaux résultats hydrodynamiques et de transport solide).

2ème simulation de pluie

	Hp av p2(%)	Pi (mm)	Kr (%)	C. (g/l)	Kr max (%)
SD	19,93	8,40	43,65	0,34	69,90
L+2H	21,04	17,70	28,66	1,08	78,00
L+H+cpk	27,59	3,81	45,71	6,93	76,60
Ts	22,64	12,98	48,28	1,65	93,00

Lorsque survient la 2ème pluie le sol se sature plus vite que lors de la première simulation, ce qui explique que toutes les parcelles aient ruisselées. Sur la fig.2 on observe clairement la phase d'imbibition et la phase correspondant au régime d'écoulement transitoire. On peut noter que sur tous les sites le ruissellement débute à partir des cinq premières minutes sauf dans les cas de L+2H et Ts où la phase d'imbibition est un peu plus longue (15 mn). Dans trois cas le coefficient de ruissellement Kr est voisin de 45 % : SD, L+H+cpk et Ts. Il n'atteint que la moitié de cette valeur sur le site labouré.

À la fin de cette deuxième pluie, le régime permanent d'écoulement est atteint pour le L+H+cpk et le Ts, les valeurs de l'intensité de ruissellement atteignant alors 50 mm. h⁻¹ en moyenne. Nous avons constaté une modification des états de surface marquée par une diminution sensible du pourcentage des zones ouvertes, sauf dans le cas du travail simplifié Ts.

Il est important de noter que l'humidité ayant augmenté et les états de surfaces sont modifiés.

3ème simulation de pluie

	Hp av p3(%)	Pi (mm)	Kr (%)	C. (g/l)	Kr max (%)
SD	29,09	4,16	74,69	0,31	89,90
L+2H	23,04	6,51	72,23	0,95	86,80
L+H+cpk	24,87	0,91	81,51	4,95	90,50
Ts	25,50	5,72	81,19	1,22	97,50

Pour la 3ème pluie qui intervient une heure après la seconde, les tendances d'évolution des paramètres hydrodynamiques restent les mêmes ; c'est à dire :

- une baisse importante des hauteurs des pluies d'imbibition et de leurs durées ;
- une augmentation de l'intensité de ruissellement et par conséquent du coefficient global de ruissellement Kr.

Il faut tout de même observer que cette troisième pluie, tout en conservant une intensité de 60 mm. h⁻¹, a une durée d'une heure au lieu de 30 minutes. La croissance de l'intensité de ruissellement est très rapide avant d'atteindre le régime permanent. Nous constatons les mêmes tendances que lors de la seconde pluie, avec une intensité de ruissellement moindre pour le labour.

Il est important de noter, en outre, que l'humidité du sol a peu varié entre la seconde et la troisième pluie, ce qui laisse à penser que l'accroissement du ruissellement est conséquence d'une modification des états de surface. Les deux pluies précédentes ont plus ou moins aplani le micro-relief, et le colmatage des pores du sol par les particules fines a entraîné la formation d'une pellicule de battance peu perméable.

La simulation a reproduit une situation hydrologique extrême dont le temps de retour est très supérieur à 10 ans puisque la fréquence décennale ne s'applique qu'à une pluie de 60 mm. h⁻¹ durant 30 mn et non une heure. De plus, cette pluie exceptionnelle tombe sur un sol déjà saturé par la pluie précédente.

2.4.3 Analyse et interprétation des turbidigrammes (fig.2)

Nous tenons encore à rappeler que les graphes ne représentent qu'une partie de la dynamique érosive observée sur un versant, et que les observations s'appliquent à une petite surface de 1 m² où l'énergie du ruissellement ne peut pas se développer, à l'inverse de ce qui se passe sur le terrain à l'échelle d'un versant.

1ère série de pluie

Le ruissellement observé sur le labour + *cultipacker* s'accompagne d'une perte en matières solides relativement élevées (environ 7 g. l⁻¹ sur toute la durée de la simulation). Par contre, le semis direct donne très peu d'exportation solide (0,4. g. l⁻¹ en moyenne). La façon culturale qui consiste à utiliser la charrue et le *cultipacker* est donc 18 fois plus érosive que celle consistant à effectuer simplement un semis direct.

2ème et 3ème séries de pluie

Des différences apparaissent, selon les traitements au cours de la seconde et la troisième pluie, le semis direct restant celui qui protège le mieux le sol (un peu plus de 0,3 g.l⁻¹ en moyenne) et le labour avec *cultipacker*

le plus agressif (5 à 7 g. l⁻¹ en moyenne). Le travail simplifié induit une érosion 4 à 5 fois plus forte que le semis direct mais 4 à 6 fois plus faible que le labour + *cultipacker*.

2.5 Discussion des résultats:

2.5.1 Hydrodynamique du sol

Pour chacun des sites étudiés, les caractéristiques hydrodynamiques du sol soumis à différents traitements ont été établis. Les tableaux ci-dessous permettent de récapituler l'évolution de la hauteur de pluie d'imbibition (Pi) et du coefficient de ruissellement (Kr) au cours des trois simulations de pluie effectives sur les différents sites sélectionnés.

	Pi (mm) p1	Pi (mm) p2	Pi (mm) p3
SD	21,82	8,40	4,16
L+2H	≥ 30	17,70	6,51
L+H+Cpk	25,22	3,81	0,91
Ts	≥ 30	12,98	5,72

De plus, l'analyse des caractéristiques du ruissellement amène quelques commentaires supplémentaires :

- la pluie d'imbibition sur les parcelles labourées ou travaillées d'une façon simplifiée est importante étant donné que le sol est aéré. Toutefois, son importance très vite se forme une pellicule de battance ce qui explique que les pluies d'imbibition des deuxième et troisième simulation de pluie soient très sensiblement plus faibles ;

	Kr (%) p1	Kr (%) p2	Kr (%) p3
SD	8,21	43,65	74,69
L+2H	0	28,66	72,23
L+H+cpk	2,53	45,71	81,51
Ts	0	48,28	81,19

- le semis direct engendre un fort ruissellement dont la vitesse, cependant, est fortement ralentie par la végétation ;

- pour la parcelle labourée, on note une forte croissance du ruissellement, entre le premier et le deuxième essai, et surtout entre le deuxième et troisième essai, dû essentiellement à la disparition des sillons du labour sous l'impact des gouttes de pluie tombant sur le sol avec une intensité assez forte (fréquence décennale) et durant un temps assez long (3ème essai). Un phénomène similaire s'observe sur la parcelle soumise au traitement simplifié ; on a remarqué une décroissance nette de la courbe ; ceci s'explique, par le fait, que le labour a été gommé et même chose pour le travail simplifié avec une décroissance continue mais très lente ;

- sur la parcelle traitée au *cultipacker*, le compactage du sol explique la formation du ruissellement dès la 1ère simulation.

- sur le semis direct, l'herbe ralentit l'impact des gouttes de pluie et surtout la vitesse du ruissellement sans toutefois favoriser l'infiltration vraisemblablement bloquée à faible profondeur par la semelle de labour.

2.5.2 Pertes en terre

Le tableau récapitulatif présenté ci- dessous montre que les pertes en terre varient sensiblement avec les pratiques culturales.

Tableau récapitulatif des principaux transports solides durant les trois séries de pluie

	C. (g/l) p1	C. (g/l) p2	C. (g/l) p3
SD	0,4	0,34	0,31
L+2H	0	1,08	0,95
L+H+Cpk	6,97	6,93	4,95
Ts	0	1,65	1,22

C : concentration moyenne de sédiments érodés en g/l.

p1 : pluie n°1 ; p2 : pluie n°2 ; p3 : pluie n°3

- Sur le semis direct la légère décroissance des concentrations entre les simulations P_2 et P_3 n'est pas très significative. La valeur un peu supérieure trouvée pour P_1 est probablement due aux travaux d'installation du dispositif de mesure.

- Pour le labour + hersage, la légère diminution de la turbidité entre P_2 et P_3 paraît peu significative.

- Pour le site correspondant au labour + hersage + *cultipacker*, on note au contraire, un épuisement du stock de matières solides transportables, épuisement relatif puisque ce traitement induit dans tous les cas des concentrations très supérieures à celles mesurées ailleurs.

- Le travail simplifié plus conservateur que le labour + *cultipacker* reste tout de même 4 à 5 fois plus agressif que le semis direct.

On peut noter par ailleurs, que d'une manière très générale les concentrations en matières solides les plus fortes se situent lorsque commence le ruissellement.

La turbidité des eaux croît d'abord rapidement avec le débit liquide, puis elle diminue

(par dilution des produits érodés) avant que le ruissellement n'ait atteint son maximum (fig.2). Dans une première phase, les particules de sol dispersées par l'effet de *splash* sont entraînées par le ruissellement. Lorsque la lame d'eau augmente sur la parcelle, l'énergie des gouttes de pluie est plus facilement dispersée entraînant une moindre agressivité.

Le schéma général de ces résultats doit tenir compte de l'éventualité des phénomènes artificiels (rupture des petits barrages, changement de la pression d'eau lors de l'expérimentation mais aussi du lâchage brutal de la structure de la pellicule superficielle du sol).

En mettant en relation ruissellement et concentrations, on constate que le maximum de ces dernières est atteint avant celui du ruissellement et qu'en revanche, en fin de cycle, les concentrations baissent lorsque le ruissellement atteint son pic ; par conséquent il n'y a pas de relation univoque entre l'intensité de ruissellement et la perte en terre.

N.B : il faut signaler que compte tenu de la diversité des états de surface des sols pris en compte, il n'a pas été possible de réaliser pour chacun d'entre eux un nombre important de répétitions et de faire une analyse statistique de la variabilité inter et intra-sites.

Conclusion

Il ressort de cette étude que, parmi les pratiques testées le semis direct s'avère être une pratique culturale assez bien adaptée aux coteaux maigres. Cette technique, économique en main d'oeuvre et en énergie, réduit le nombre de passage des engins au strict minimum limitant ainsi la destruction de la structure du sol qui bénéficie en outre d'une couverture végétale protectrice. Néanmoins, cette technique ne peut être une solution durable que si le désherbage chimique et la lutte contre les ravageurs (les limaces) sont mieux maîtrisés. Toutefois elle provoque des pertes en eau importante qui nécessitent des mesures d'accompagnement comme l'implantation des fossés ou des rigoles d'évacuation des eaux de ruissellement, complétée éventuellement par la mise en place des retenues d'eau pouvant être utiles pour les agriculteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Asseline J., Valentin C., 1978.- Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion, cah. ORSTOM, sér. hydrologie, vol. xv, n° 4.
- Casenave A., Chevallier P., Guignen N., Simon J.M, 1982. - Simulation de pluie sur bassins versants représentatifs, cah. ORSTOM, sér. hydrol.,vol. xix, n° 4, pp 207 - 297.
- Casenave A., Valentin C., 1989. - Les états de surfaces de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration, ORSTOM, 226p.
- Collinet J., 1988. - Comportements hydrodynamiques et érosifs des sols de l'Afrique de l'ouest, évolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluie, 513 p.
- De Noni G.,1994. - Projet de recherche sur l'érosion et la conservation des sols cultivés et sous pâturage en sud Aveyron ORSTOM 6p.
- De Noni G., Nouvelot J.F., 1994. - Bulletin réseau érosion, bull. n° 14, ORSTOM, 625p.
- Guillermin C., 1994. - Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès, propositions de pratiques culturales, CNAM et INAPG, 51p.
- Lafforgue A., 1977. - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles, cah. ORSTOM, sér. hydrol., vol. xiv, n°4.
- Lafforgue A., Naah E., 1970. - Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluie simulée, cah. ORSTOM, sér. hydro, XIII, 3, pp 1955 - 2377.
- Nouvelot J.F., 1992. - Erosion mécanique, transport solide, sédimentation dans le cycle de l'eau, ORSTOM, 126p.

- Roose E., 1973. - Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire, contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical, 124p.
- Roose E., 1992. - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES), ORSTOM Montpellier, 212p.



SESSION 3 :

ARIDOCULTURE

L'oliveraie du Sud tunisien : nécessité d'une préservation et d'une gestion raisonnées des ressources (A. Trigui).....	173
L'enracinement de l'olivier et ses variations en fonction de la nature du sol en milieu aride (B. Ben Rouina, H. Taamallah et A. Trigui).....	182
Apport de micorhizes dans le développement des ressources végétales des zones arides : cas du palmier dattier (L. Bouhired, N. Achab et F. Ben Missoum).....	192
Contribution à la mise au point de la technique de culture de la tomate en hors sol sous serres chauffées par les eaux géothermales (M. Haddad et A. Mougou).....	199
Bilans des études et des travaux de recherche en matière de défense des cultures dans les oasis et les serres chauffées (M. S. Belkadhi).....	204
Gestion des eaux salées en irrigation : cas des céréales (K. Naguez et N. Ben Mechlia et A. M'charek).....	217
Collecte, évaluation et utilisation des ressources locales d'orge du Sud de la Tunisie (M. EL Felah).....	223
Croissance et le développement de trois céréales (blé, triticale et orge) cultivées en milieu hydroponique sous contrainte saline (S. Bounaqba, T. Mbarka et E. Zid).....	230

L'OLIVERAIE DU SUD TUNISIEN : NECESSITE D'UNE PRESERVATION ET D'UNE GESTION RAISONNEES DES RESSOURCES

Ahmed TRIGUI *

RESUME

Occupant en Tunisie le tiers des terres labourables, l'olivier constitue l'unique alternative culturale en zone aride, et est conduit (dans 90 % des cas) en monoculture en sec. Son développement et sa production (à l'échelle de l'arbre, de la parcelle, de la région et de l'ensemble du pays) ont toujours été fluctuants et tributaires des conditions du milieu de culture dont les variations spatio-temporelles sont de règle.

Avec un tiers de l'effectif, l'oliveraie du Sud assure près de 45 % de la production d'huile, malgré l'aridité climatique (irrégularité spatio-temporelle des pluies et insuffisance, toutes deux chroniques, aux niveaux local et régional), souvent doublée d'une aridité édaphique.

Par ailleurs, l'importance des extensions récentes au sud des plantations d'olivier dénote de l'engouement vers cette culture pluri-pérenne malgré les variations des productions dont l'alternance est accentuée par les conditions du milieu et le niveau des soins culturaux prodigués (contribuant indirectement à l'érosion), tous autres facteurs égaux par ailleurs.

Nos travaux montrent qu'en outre, le potentiel végétal (dont la rusticité et l'adaptation sont prouvées) s'avère assez riche mais peu connu, il prédispose l'oléiculture tunisienne des milieux aride et semi aride -si mieux étudié et exploité- à une valorisation raisonnée. Si par le passé, le traditionalisme séculaire a permis, vu l'insuffisance des ressources hydriques, la mise au point de techniques culturales ayant permis de gérer l'aridité (2/3 de l'oliveraie) pour conduire les plantations en sec et produire de l'huile de qualité, l'avenir très proche est tributaire de l'apport de la recherche à tous les niveaux en vue de la régularisation de la production et de l'amélioration de la rentabilité économique de la culture.

Etant donné la sensibilité de l'écosystème en milieu aride, l'oléiculture pourrait constituer l'une des meilleures alternatives de développement agricole et l'amélioration de la production oléicole dans ces conditions aux plans qualitatif et quantitatif passe nécessairement par une gestion adéquate des ressources (végétales et édapho-climatiques) et un réexamen des normes techniques et culturales permettant de gérer l'abondance et l'insuffisance sans nuire au milieu.

Mots clés : olivier (*Olea europea* L.), ressources oléicoles et édapho-climatiques, préservation et gestion raisonnées, alternatives de développement.

SUMMARY

The tunisian groveland occupies the third of cultivated area and the olive trees constitute the unique viable alternative in arid zones. Conducted in a rainfed mode (90 % of the olive groveland) as a monoculture, the development and yields (of the trees, the farms and all the country) vary considerably and depend on the environmental conditions whose variations are accented spatiotemporally in arid zones.

The olive groveland of the south (third of the national olive trees) insures 45 % of the oil production in spite of the climatic aridity (spatiotemporal variations and deficit of rainfall, at local and regional levels) often with the interaction of the soil aridity.

The recent extension of olive groveland is mainly done in the south, whose climatic conditions will accent the yields variations and alternate bearing, in spite of the frequent tillage which contribute to the erosion damages.

Our study shows also that the olive tree genetic resources (whose rusticity and adaptation are well known are rich but partly unknown. Their study will permit to valorise arid and semi-arid zones. If in the past, because of the limitant climatic conditions, the centuries old traditionalism had permitted to create some techniques and cultivation modes adapted to the arid zones (2/3 of the olive groveland) in order to valorise the arid lands and insure yields of a good qualitative olive oil, the future of that speculation depends on the research results in order to insure the regulation of the yields (attenuation of the alternate bearing) and to improve its economical rentability.

* Directeur de Recherches Agricoles et de Pêche,

** avec la collaboration de MM. M. KHLIF, H. BELGUITH, A. CHAKROUN, J. KHECHAREM et A. YENGUI Institut de l'Olivier BP 263, 3018 Sfax (Tunisie).

In tunisian arid zones, because of the ecosystem fragility, olive culture could constitute one of the best alternatives of agriculture development ; the olive groveland qualitative and quantitative production in those conditions may be improved by an adequate management of vegetative and climatic resources which needs the adoption of improved norms and techniques preserving the milieu and the autochtonous cultivars.

Key words : olive trees (*Olea europea L.*), genetic and climatic resources, preservation and management, development alternatives.

I - INTRODUCTION

L'oléiculture tunisienne occupe une place de choix tant aux plans écologique et agricole qu'aux plans social et économique en assurant, outre la production d'huile, le revenu d'un million de tunisiens et une activité agricole et industrielle offrant 25 à 30 millions de journées de travail par an.

Conduite à 95 % en sec, donc à l'extensif, l'olivaie tunisienne dont l'effectif dépasse de nos jours 60 millions de pieds d'olivier occupe le tiers des terres labourables. Mais, la Tunisie est très peu lotie au plan climatique et 60 % des plantations d'olivier sont situées en milieux semi-aride et aride. De ce fait, l'olivier joue un rôle écologique souvent omis, et/ou contesté et assure une production d'huile annuelle très fluctuante (plus de 90 % des plantations sont destinées à la production de l'huile d'olive) malgré les changements structurels qu'a connus l'oliveraie tunisienne (Trigui, 1987, 1993, 1996).

Or, cette alternance de production est due essentiellement à des facteurs intrinsèques (génétiques : certains cultivars ont tendance à alterner plus que d'autres) et/ou surtout extrinsèques sous l'effet des conditions édapho-climatiques et des modes de conduite et d'entretien.

En effet, une multitude de contraintes chroniques affectent négativement le secteur oléicole et accentuent l'érosion génétique (Trigui, 1987, 1990, 1993, 1994 a & b ; Trigui et al, 1995 et Trigui, 1996a) dont : l'aridité climatique (deux tiers des plantations d'olivier) doublée d'une aridité édaphique (plus de 600 000 ha de plantations marginales), le vieillissement et la sénescence d'une bonne partie de l'olivaie traditionnelle, l'arrachage illicite et/ou autorisé et l'avancement effréné de l'urbanisme engendrant la perte d'une partie du patrimoine, la diversité du matériel végétal constituant une richesse dont les performances aux plans quantitatifs (rentabilité) et qualitatifs restent pour la plupart inconnues (Khlif et Trigui, 1986, 1989, 1990 ; Trigui et Khlif, 1991 ; Trigui et al, 1995 et Trigui, 1996 b) et enfin la productivité de l'olivier, faible et fluctuante en milieu aride, liée notamment au cultivar, à la vigueur et à l'âge des oliviers ainsi qu'à l'impact des contraintes édapho-climatiques (Baldy, 1985 ; Floret et Pontanier, 1982 ; Riou, 1978 ; Trigui, 1987, 1993, 1994 b & c).

Dans le cadre d'une contribution à l'amélioration aussi bien quantitative que qualitative de la production oléicole dans les conditions restrictives tunisiennes et d'une rationalisation de l'exploitation du potentiel oléicole du milieu aride tunisien, les travaux entrepris -dont cette synthèse est présentée- visent l'amélioration de la productivité de l'olivaie moyennant une meilleure connaissance des particularités du milieu de culture et de l'effet des conditions édapho-climatiques sur la production de l'olivier, ainsi que l'étude ultérieure des potentialités et performances des cultivars autochtones, jusqu'alors peu propagés mais pouvant assurer l'extension de cette monoculture dans des milieux voués autrement à la désertification, en l'absence d'autres alternatives culturelles viables.

II- Matériels et méthodes :

Le milieu et le potentiel oléicoles tunisiens, de par leur importance spatiale, ont fait l'objet de plusieurs études agro-climatiques (TRIGUI, 1987, 1989, 1992, 1993, 1996) en vue de mieux connaître d'abord les potentialités du milieu de production (aux échelles de la parcelle, de la région et du pays) et l'effet de ses variations sur le potentiel oléicole et la production, ensuite la richesse du patrimoine variétal autochtone.

Les études ont comporté :

- l'analyse des relevés ininterrompus des données climatiques et des productions tenus à jour depuis la mise en place (Trigui, 1987) du domaine du Chaal (220 000 pieds, plantés à 89 % avant 1930 sur 14 342 hectares, à une densité de 17 pieds à l'hectare soit un écartement de 24 m x 24 m, offrant une mosaïque d'âges et de sols assez intéressante),
- des profils pédologiques effectués dans des parcelles représentatives afin de cerner davantage les effets des conditions édaphiques sur la variation de la production oléicole en milieu aride
- l'analyse des relevés ininterrompus des données climatiques et des productions par gouvernorat et par grande région, tenus à jour depuis un siècle (ensemble de l'oliveraie tunisienne, Trigui, 1993)
- l'identification variétale du patrimoine variétal oléicole, notamment du sud tunisien.

III- Résultats et discussions :

A - La pluviométrie :

En milieu aride tunisien, le climat solaire assez fourni et le régime thermique peu favorable constituent les éléments majeurs conditionnant les quantités d'eau provenant des précipitations pouvant être stockées dans

le sol. De ce fait et étant donné que l'oliveraie tunisienne est conduite en sec, la pluviosité est le facteur climatique qui conditionne le plus le développement et la production des oliviers (Trigui, 1987, 1993).

Or, en Tunisie, les pluies sont caractérisées par des variations importantes dans l'espace et dans le temps aux échelles journalières, mensuelles et annuelles. Elles sont d'autant plus accentuées que le milieu est plus aride.

1 - Variation temporelle :

a- la répartition annuelle des pluies :

Les données relevées au cours des 72 dernières années ont fait l'objet d'une analyse qui fait ressortir que

- les précipitations annuelles ont varié de 53,1 mm (minimum en 1937) à 631 mm (maximum de 1969), avec une moyenne annuelle de 195,8 mm (figure 1),

- Les valeurs extrêmes des pluies annuelles reçues présentent un écart considérable : la hauteur d'eau la plus élevée (631 mm) a été enregistrée en 1969 ; elle a été précédée et suivie d'années à pluviométries très faibles (128,6 mm en 1968 et 79,3 mm en 1970), alors que cette même année (1969) compte (d'après la définition de Floret & Pontanier, 1982) huit mois secs sur douze.

Ainsi, la période étudiée compte 27 années relativement plus "humides" que la moyenne contre 43 années plus "sèches" (fig 1),

- en raison des variations inter-annuelles et de l'effet dominant des hauteurs des pluies assez exceptionnelles, cette moyenne est en fait arbitraire, la médiane de la série des 42 dernières années n'est que de 168,6 mm, soit un écart de 27,2 mm ou 14 %, ce qui est considérable.

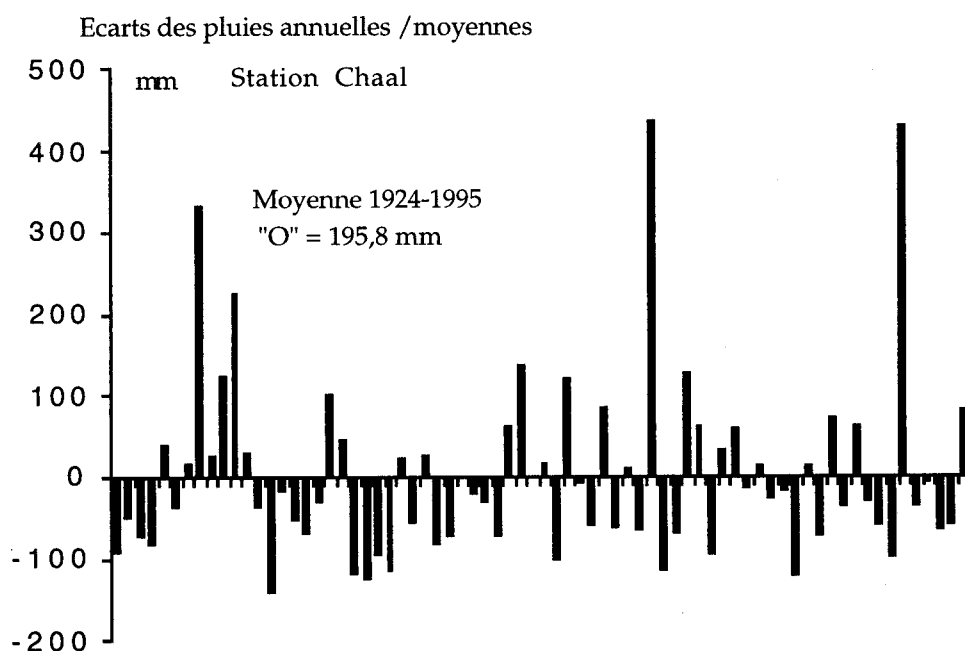


Figure 1 : Pluviométrie enregistrée au Chaal au cours de la période 1924-1995 : écarts des pluies annuelles par rapport à la moyenne de la période. Noter le nombre important d'années dont la pluviométrie est inférieure à la moyenne.

b - Répartition mensuelle :

L'analyse effectuée montre que :

- la répartition mensuelle des pluies est très irrégulière variant d'une année à l'autre, et les hauteurs d'eau les plus élevées de l'année sont enregistrées aux mois d'Octobre et de Mars.

- la fin de la période des pluies a lieu 4 années sur 5 avant le premier Mai, période coïncidant avec la floraison et la nouaison de l'olivier

- même au cours des années à pluviométrie élevée, la période sèche est longue et varie de 4 à 11 mois.

Or, s'agissant d'une espèce qui, portant sa production durant les mois secs de l'été (dont le nombre est plus ou moins grand selon la zone et l'année), a un besoin d'eau pressant pour la mener à terme ; ces deux paramètres sont donc très importants en milieu aride.

c - Efficacité des pluies en milieu aride:

Les hauteurs des pluies varient beaucoup d'année en année (dans un rapport de 1 à 12 atteint dans notre cas) et surtout de mois en mois, l'étude a montré que "tout mois de l'année peut être sec".

Par ailleurs, les pluies tombent en peu de jours dans l'année : au Chaal, le nombre total de jours de pluie varie de 15 à 50 jours, avec une moyenne de 31 jours.

En effet, assez fréquentes sous ce climat, les fortes averses orageuses engendrent des intensités assez élevées que les sols, généralement très desséchés à la suite d'une saison sèche estivale assez longue (5 mois en moyenne dans le cas étudié) ne sont pas en mesure d'absorber, ce qui engendre un ruissellement d'autant plus important que le sol est imperméable. L'efficacité des pluies s'en trouve considérablement réduite, compte non tenu du ruissellement qui en résulte, et qui réduit encore davantage les quantités réelles arrivant au niveau des racines de l'olivier.

2 - Variation spatiale :

Les orages étant généralement très localisés, ils engendrent souvent des pluies dont les quantités reçues varient selon l'importance de la zone concernée par l'averse.

L'étude micro-zonale des précipitations enregistrées sur chacune des fermes composant l'olivette du Chaal -comparée à celles de la station météorologique de référence- nous a permis d'approfondir cet aspect très important de la répartition géographique des pluies et de montrer (Trigui, 1987, 1994) que les précipitations annuelles varient beaucoup entre fermes limitrophes et que ces variations se manifestent aussi bien à l'échelle journalière que mensuelle dans un rapport de 1 à 3.

A une échelle plus large (des Gouvernorats du Sud), les pluviométries sont sujettes à des variations spatiales et temporelles, intra et inter-annuelles comme le montre le tableau suivant :

Tableau I : Précipitations enregistrées dans les gouvernorats du Sud

	1901-60	1971-72 / 80-81			1981-82 / 90-91		
	Moy	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Sfax	203	235,5	105	343	231,8	70	435
Kairouan	286	327,6	211	479	275,7	146	547
Sidi Bouzid	-	485,4	234	722	234,4	120	454
Gafsa	166	190,4	96	299	175,4	74	390
Gabes	172	234,4	117	458	195,4	128	352
Medenine	138	224,4	94	550	185,3	110	251
Jerba	206	260,9	135	850	208,5	76	368
Kasserine	267	293,9	171	565	-	-	-

Pour conclure, l'étude montre qu'en milieu aride, les pluviométries (journalières, mensuelles, saisonnières et annuelles) se caractérisent toutes par une irrégularité chronique aussi bien des quantités reçues que de leur répartition spatiale et temporelle. Leurs variations à l'échelle micro-zonale sont plus importantes qu'on ne le pense, ce qui rend difficile et non fiable toute extrapolation des données climatiques d'une station de référence à d'autres stations satellites. Toutes les données précitées accentuées par un climat solaire et un régime thermique peu favorables constituent des contraintes qui ne font que réduire les quantités d'eau pouvant être stockées dans le sol.

L'état de la surface de ce dernier (en raison d'un dessèchement quasi-perpétuel) et ses qualités intrinsèques (profondeur exploitable, structure et texture notamment) réduisent considérablement les quantités d'eau de pluie reçue ce qui accentue le déficit hydrique dont l'effet cumulable au fil du temps ne peut qu'amplifier les dangers de la désertisation.

a - Milieu et Production :

La densité de 17 pieds à l'hectare (écartement de 24 x 24 m) adoptée en milieu aride a été dictée arbitrairement par la demande (besoins en eau des arbres) et de l'offre du milieu (potentialités climatiques). Mais cette dernière étant très faible et mal répartie, l'intervention des besoins en eau des cultures est compliquée par la nature des facteurs en jeu.

L'analyse en composantes principales normée de l'ensemble des valeurs numériques de rendements et des variables qualitatives et quantitatives disponibles (Trigui, 1987) confirme l'intervention de principales variables discriminantes à savoir : le sol, les rendements des années antérieures, les pluviométries et l'âge des

oliviers ; ce qui explique l'alternance de production du Cv. Chemlali à dominance bisannuelle, et l'effet des pluies de l'année (n-1) sur la production de l'année n. Ces résultats mettent davantage en évidence la variation des corrélations entre variables discriminantes et rendements de l'année (Rn) et l'importance du type de sol qui conditionne la réponse des arbres.

1 - Intervention des pluies :

La tendance de l'olivier Chemlali à l'alternance de production est un caractère intrinsèque à l'espèce. Pour des arbres de même âge, les rendements moyens annuels enregistrés au cours de la période 1939/40-1992/93 au domaine du Chaal sur trois parcelles appartenant à la même ferme, ont varié de 0 à 280 kg par arbre et par an surtout sous l'effet des conditions édapho-climatiques.

Généralement bisannuelle, cette alternance de production est en milieu aride plutôt pluriannuelle et sa cadence varie en fonction de plusieurs facteurs dont la pluviométrie et l'âge des arbres comme l'illustrent les moyennes de la série de deux années consécutives des mêmes parcelles (figure 2).

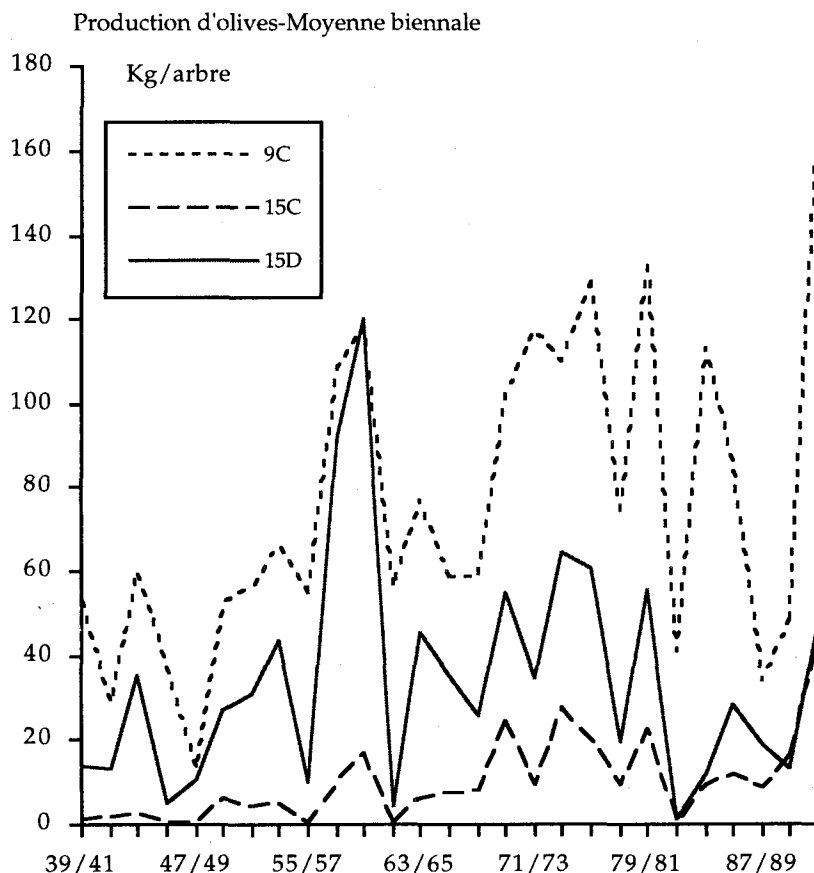


Figure 2 : Evolution des rendements en olives de trois parcelles limitrophes appartenant à la même ferme (même conditions pluviométriques) et de même âge (plantées en 1909). Noter les variations en fonction des pluies et surtout l'effet des conditions édaphiques (9C : sol sableux profond ; 15D : sol sableux en surface et limono-sableux à partir de l'horizon -35 cm ; et 15 C : sol marginal).

Variant considérablement en dents de scie d'une année à l'autre et ce notamment en fonction des pluies de l'année précédente (n-1), les moyennes quinquennales (Figure 3) masquent l'effet de l'alternance, et traduisent nettement l'évolution de la production notamment en fonction de l'âge et des conditions du milieu (excès ou déficit pluviométriques).

2 - Intervention des conditions édaphiques :

L'intervention du sol en tant que réservoir hydrique est capital pour l'olivier en milieu aride. L'analyse des données de production (à pluviométrie égale : cas de mêmes parcelles limitrophes et dont les oliviers sont de même âge) fait ressortir la possibilité de distinguer les trois types de sol pris en considération (S : sol sableux profond, L : sol généralement limoneux ou dont la couche arable présente des défauts de structure,

et M : sol marginal peu favorable à la culture de l'olivier). Cette distinction est rendue possible grâce à l'étude plus approfondie de la typologie des sols de quelques parcelles (menée par F. MAALEJ, pédologue), ce qui a permis de mieux cerner la variabilité des rendements intra-classes observée précédemment, illustrer l'intervention du complexe sol-eau, et mettre en évidence l'effet de l'hétérogénéité édaphique.

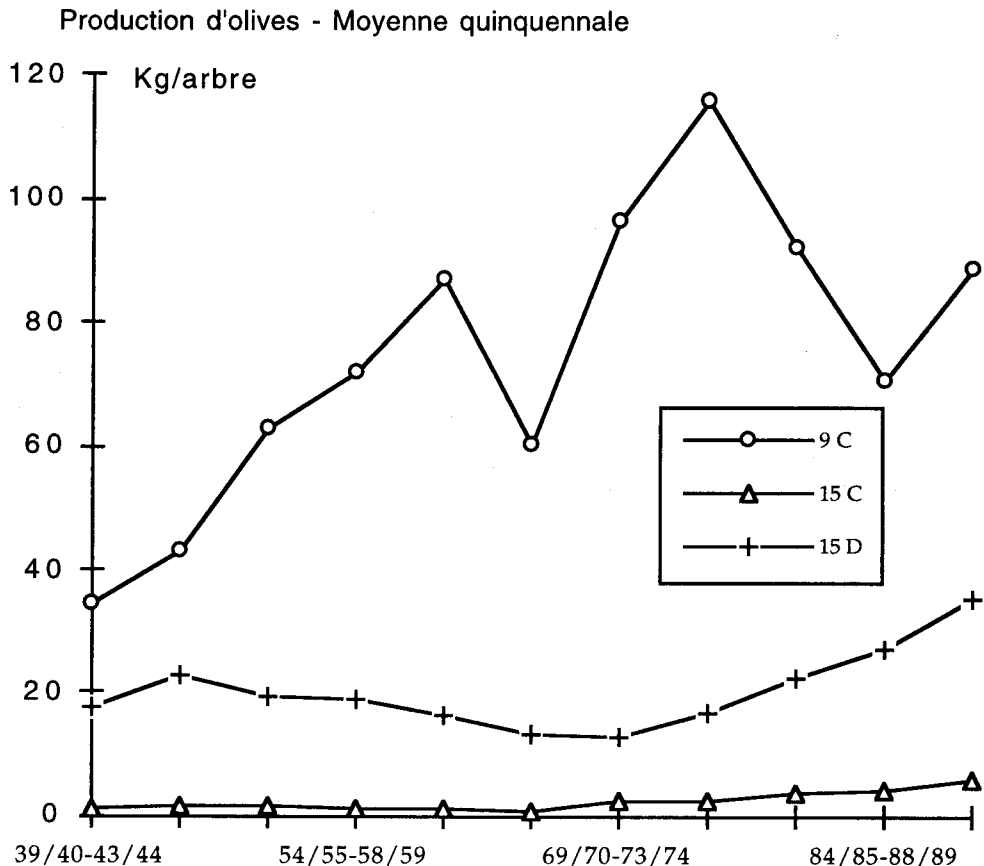


Figure 3 : Evolution des moyennes quinquennales des rendements en olives de trois parcelles limitrophes (9C : sol sableux profond ; 15D : sol sableux devenant limono-sableux à partir de l'horizon -35 cm ; et 15 C : sol marginal), appartenant à la même ferme (même conditions pluviométriques) et de même âge (plantées en 1909). Noter que l'alternance s'estompe, et que l'effet de la nature du sol accentue les différences durant toute la vie des arbres.

Ainsi, les rendements moyens annuels enregistrés sur les trois parcelles variant dans un rapport de 1 à 7,6 ; (10,3 kg par arbre et par an à 76,5) en fonction de la nature du sol, il nous a été possible de montrer (figure 3) que pour des sols supposés classés dans la même catégorie (sols sableux), mais présentant une différence de structure (présence de limon à partir de l'horizon -15 cm, devenant limono-sableux à partir de l'horizon -35 cm), les rendements moyens des oliviers qui s'y trouvent sont réduits de moitié.

Les écarts de production apparaissent (mêmes figures 2 & 3) dès le jeune âge et se poursuivent tout au long de la période considérée. Ces hétérogénéités sont plus accentuées les années "plus" (de production élevée) que les années "moins" (fig. 2).

3 - Prise en compte des contraintes du milieu et aménagements

Enfin, il est vrai que traditionnellement, la culture a été établie selon des normes techniques adaptées au milieu : l'adoption d'une densité faible, accompagnée par des techniques de travail du sol et des ouvrages de conservation des eaux et du sol (CES) ont fait l'objet de travaux empiriques qui sont à l'origine de la réussite des plantations d'olivier dans ces zones déshéritées. En effet, ces ouvrages ont permis d'apporter un supplément d'eau non négligeable (là où leur confection est réalisée) et le dry-farming sfaxien (utilisation d'outils variant selon la saison et travaillant le sol sans le retourner pendant l'été) font que l'infiltration des eaux de pluies est facilitée et l'évaporation est réduite à son strict minimum.

Malheureusement, la mécanisation anarchique généralisée a été à l'origine de la fragilisation de ces zones (utilisation du polydisque dans le sud et adoption presque exclusive ailleurs du cultivateur à queue d'hirondelle à longueur d'année, outil unique travaillant à une profondeur constante, ainsi que la raréfaction des

ouvrages). La réactualisation des normes techniques s'avère d'une nécessité absolue en milieu aride en vue de l'adoption des pratiques culturales appropriées.

Ceci est d'autant plus urgent que les statistiques disponibles (DGPV, ONH) révèlent qu'au cours de la décennie écoulée (1985 - 94), le regain de l'intérêt vis à vis de l'olivier s'est soldé par un effort de création de nouvelles plantations sur une superficie totale de 140 000 ha et que pour la même période 1985/94 (DGPA, 1995, comm. pers.) 73000 ha de nouvelles plantations ont été réalisés en grande partie dans le Sud, elles font placer le gouvernorat de Sidi Bouzid en tête avec près de 20800 ha, suivi de Gafsa (18000 ha), Medenine (13 800 ha), et Tataouine (12800 ha).

Cette tendance souhaitable serait louable si :

- l'on n'a pas réservé à l'olivier, dans beaucoup de régions, les sols les plus inadéquats (squelettiques, marginaux, en pente ou hydromorphes) là où d'autres cultures sont généralement vouées à l'échec, ce qui risquerait d'augmenter le lot des plantations marginales puisque les superficies plantées en olivier en englobent (Ministère de l'Agriculture, 1987) près de 600 000 ha (dont 34 % à l'extrême Sud). Dans ces situations marginales et /ou marginalisées, l'olivier végète s'il arrive à faire face au déficit hydrique chronique, produit peu et alterne beaucoup. En effet, les variations des productions s'accroissent sous l'effet des conditions du milieu et le niveau des soins culturaux prodigués (contribuant indirectement à l'érosion), tous autres facteurs égaux par ailleurs ;

- l'effort de création de nouvelles plantations ferait davantage recours aux variétés locales, certes peu connues, mais dont la rusticité et la qualité du produit sont appréciées par les oléiculteurs.

a - La richesse variétale de l'olivieraie du sud :

La valorisation de ce milieu passe inéluctablement par la connaissance du matériel végétal autochtone en vue de sa propagation. A cet effet, les prospections menées ont permis d'abord de se rendre compte de la richesse variétale des zones de culture traditionnelles au Sud pour aboutir ensuite à l'identification d'une trentaine de cultivars et d'une centaine d'écotypes locaux (Khlif et Trigui, 1986, 1989, 1990 ; Trigui et Khlif, 1991-1994 ; Trigui, 1994 ; Trigui et al, 1995 et Trigui, 1996 a & b) dont la conservation a été assurée par les oléiculteurs en raison de leur développement, de leur production et/ou de leur adaptation aux conditions des milieux.

Les différences au plan pomologique (arbre, tronc, feuilles, fruits et noyaux) des cultivars et écotypes rencontrés au Sud du pays sont appuyées par des études quantitative (rendements en huile) et qualitative (caractères analytiques) des huiles extraites des Cultivars identifiés comme l'indiquent les résultats préliminaires (tableau II) dont l'approfondissement est en cours. Ils montrent que certaines variétés ont des potentialités meilleures que celle de la Chemlali de Sfax largement connue dans le sud.

La sauvegarde en vue de la connaissance des potentialités réelles des variétés autochtones est entamée dans l'objectif d'en envisager la valorisation. L'étude des potentialités des cultivars regroupés dans ces collections et de leur adaptation au milieu porte surtout sur la précocité de l'entrée en production, la vigueur, la production par arbre, et la qualité du produit (l'olive et/ou l'huile) et leurs variations en fonction des conditions du milieu.

Tableau II : Caractéristiques pomologiques et qualité du produit de quelques cultivars du Sud, comparées à celles de la Chemlali de Sfax (Trigui et Khlif, 1996)

Cultivars et Ecotypes	Chemlali de Sfax C3	Chemlali de Zarzis	Zalmati	Zarrazi	BL31	BL42
	I - Paramètres pomologiques					
1 - Fruits						
Poids moyen (g)	1,1	1,41	1,25	3,72	0,81	0,97
Rapport Pulpe/noyau	5,5	5,5	5,9	7,9	2,11	2,88
Teneur en eau %	41,99	43,01	51,4	39,42	42,6	42,6
% MG (sur tel)	29,64	27,71	25,73	25,44	25,4	25,4
% MG (sur sec)	50,83	48,64	52,94	41,28	44,2	44,2
2 - Noyaux						
Longueur moyenne (mm)	10,59	12,3	12,6	14	11,3	14,3
Diamètre moyen	4,93	6	6	7	6,13	6,04

II - Composition acide des huiles (%)

Acide Palmitique : C16:0	20,1	15,51	17,16	8,62	15,7	19,3
Acide Palmitoléique C16:1	2,5	2,09	2,1		3,1	3,3
Acide Stéarique C18:0	2,9	2,03	1,6	1,83	2,9	1,8
Acide Oléique C18:1	52,3	72,79	64,91	75,12	65,7	64,1
Acide Linoléique C18:2	21,8	7,92	13,67	13,72	11,4	10,3
Acides Gras Saturés : AGS	23,2	17,54	18,76	10,45	19,2	21,9
Acides Gras Insaturés : AGI	77,3	82,46	81,24	89,55	80,3	77,7
AGS/AGI (%)	30,01	21,27	23,09	12	23,9	28,2

IV - Conclusions :

La Tunisie accorde une place de choix pour son potentiel et sa production oléicoles, vu les traditions oléicoles ancestrales de production et surtout de consommation et le peu d'alternatives culturelles possibles dans un milieu aussi déshérité sur le plan édapho-climatique.

En milieu aride oléicole, où le climat capricieux présente des variations parfois extrêmes, l'étude des relations sol-eau-plante est plus complexe qu'on ne le pense. L'approche adoptée est dictée par la complexité et le nombre important de facteurs intervenant dans le déroulement du cycle biologique de l'olivier et la conduite à bon terme de sa production là où les conditions climatiques restrictives coïncidant avec la période d'activité de l'espèce l'affectent considérablement. Les résultats présentés nous ont permis de cerner l'intervention de chacun des facteurs pris en considération dont notamment le sol.

L'eau étant le facteur limitant, les pluviométries, outre leur insuffisance chronique, présentent des variations spatio-temporelles considérables qui affectent -sous l'effet d'un climat solaire et d'un régime thermique peu favorable- l'efficacité de la réception, du stockage et de la conservation des eaux. L'intervention du sol en milieu aride est d'autant plus déterminante que l'eau est rare et que la période sèche assez longue (offre minimale ou nulle) coïncide avec celle où la demande est la plus intense (entretien de la frondaison, formation et croissance des fruits et durcissement des noyaux).

Les productions enregistrées varient considérablement sous l'effet des pluviométries et du type de sol. Or, en milieu oléicole sud-méditerranéen, l'aridité climatique est souvent doublée d'une aridité édaphique, ce qui affecte doublement la croissance, le développement et la production de l'olivier. La rationalisation de la réception, de la rétention (petits ouvrages) du stockage et de la conservation de l'eau des pluies est d'une importance capitale pour s'assurer un développement et une production adéquates.

Par ailleurs, le patrimoine variétal (dont la rusticité et l'adaptation sont prouvées) s'avère assez riche mais peu connu, sa valorisation prédisposera l'oléiculture tunisienne des milieux aride et semi aride à une rationalisation raisonnée de l'exploitation de l'oléiveraie du sud.

L'insuffisance des ressources hydriques n'a pas empêché, par le passé, de gérer l'aridité pour conduire les plantations d'olivier en sec et produire de l'huile de qualité, l'amélioration de la production oléicole aux plans qualitatif et quantitatif passe nécessairement par une gestion adéquate des ressources (végétales et édapho-climatiques) et un réexamen des normes techniques et culturelles permettant d'en atténuer les effets néfastes sans nuire au milieu.

Enfin, étant donné l'importance agronomique, économique, sociale et écologique, actuelle et future de l'olivier, la valorisation adéquate du milieu aride à travers l'oléiculture (alternative culture rémunératrice) est possible si l'on tient compte des potentialités du milieu et du matériel végétal en présence et en intégrant implicitement les aspects bioclimatiques, variétaux et culturels afin d'atteindre les objectifs de développement dans les conditions particulières de la Tunisie.

Remerciements :

Cette synthèse a été rendue possible grâce à la participation de l'équipe de bioclimatologie-amélioration et de technologie à l'Institut de l'Olivier ainsi que celle de Mr. F. MAALEJ, pédologue.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Baldy Ch., 1985. "Contribution à l'étude des applications de la bioclimatologie végétale à l'agro-météorologie des zones arides et semi-arides en climats méditerranéen et tropical". Thèse de Doctorat es-Sciences, Univ. d'Aix-Marseille, 225 p.
- Floret C. Et Pontanier R., 1982. "L'aridité en Tunisie pré saharienne". Thèse de Doctorat d'Etat, USTL (Montpellier-Fr.), 544 p.
- Khlif M. Et Trigui A., 1986. "Observations préliminaires à une sélection clonale de la variété d'olivier Chemlali". OLEA, 17, 71 - 75.
- Khlif M. And Trigui A., 1989. "Olive tree cultivar investigations. Preliminary results". OLEA, 20, 1989, 16.
- Khlif M. Et Trigui A., 1990. "Olive tree cultivar investigation. Preliminary results". Acta Horticulturae, 286, 1990, 65 - 68.
- Riou Ch., 1978. "Quelques aspects du bilan hydrique d'une plantation d'oliviers" In : Séminaire sur l'olivier et autres plantes oléagineuses cultivées en Tunisie" (Mahdia-Tunisie), 101-104.
- Trigui A., 1987. "Relations entre le climat, le sol et la production de la variété d'olivier Chemlali dans la région de Sfax (Tunisie). Contribution à l'étude de la Bioclimatologie de l'espèce par l'analyse des propriétés biophysiques, structurales et spectrales des feuilles et des arbres." Thèse de Doctorat d'Etat mention Sciences, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier-Fr.), 433 p.
- Trigui A., 1990. "L'olivier en Tunisie". Encyclopédie de la Tunisie, Cahier P1/90, Ed. Fondation Nationale "Beit El Hikmah", Carthage (Tunisie), 102-111 (Ar.)
- Trigui A. Et Khlif M., 1991. "Preliminary results of an olive oil varietal trial in Sfax". Résumé in : OLEA (VIII ème Consultation du Réseau Européen de Recherches Oléicoles, Izmir-Turquie, 10 - 13/9/91), 21, 1991, p.27.
- Trigui A. And Khlif M., 1992. "Contribution to a clonal selection of a tunisian olive tree variety "Chemlali de Sfax". Proceedings of "Olive Oil Quality International Congress", Firenze (Italy), 2-4 December 1992, 395-397.
- Trigui A., 1993. "Le secteur oléicole : potentiel, production et évolution". Edition Institut de l'Olivier, Série Etudes, 1/93, 48 p.
- Trigui A., 1994 (a). "La sélection clonale et le croisement chez l'olivier : problèmes en matière de méthodologie". Actes du Symposium sur l'"Amélioration Génétique de l'Olivier", Edition du Conseil Oléicole International, PFC/Doc 2, Annexe II, Mai 1994, 1-10.
- Trigui A., 1994 (b). "Le milieu édapho-climatique au Sud Tunisien : caractéristiques et effets sur la production de l'olivier". Proc. International Conference on Land and Water Resources Management in the Mediterranean Region (Bari-Italy, 4-8/9/94), Ed. WRC/CIHEAM, IWRA, Vol. III (Integrated Land and Water Resource Management), 845-860.
- Trigui A., 1994 (c). "Olive groves in arid zones : new conceptions to valorize land and climatic resources". Proc. International Conference on Land and Water Resources Management in the Mediterranean Region (Bari-Italy, 4-8/9/94), Ed. WRC/CIHEAM, IWRA, Vol. III (Integrated Land and Water Resource Management), 861-872.
- Trigui A. Et Khlif M., 1994. "Amélioration Génétique de l'Olivier : II - Le patrimoine génétique oléicole : la richesse du potentiel et la variabilité inter et intra-variétale". Résumé in Programme et Résumés des Communications aux Journées Nationales sur les Acquis Récents de a Recherche Agronomique et Vétérinaire, (2-4/12/1994, Hammamet - Tunisie), Ed. IRESA, p. 119.
- Trigui A. Et Fiorino P., 1995. "L'amélioration génétique des variétés d'olivier par croisement : Programme et Résultats préliminaires du projet du AGO/COI/FCPB". OLEA 23, Septembre 1995 (Abstracts of the IXth Consultation of the Interregional Cooperative Research Network on Olives, Hammamet-Tunisie, 20-23/9/1995), p. 24.
- Trigui A., Chaari-Rekhis A., Khlif M., Et Grati-Kammoun N., 1995. "Conservation et étude" en collection du comportement et des potentialités des cultivars d'olivier en milieu aride : Résultats préliminaires". OLEA 23, Septembre 1995 (Abstracts of the Ninth Consultation of the Interregional Cooperative Research Network on Olives, Hammamet - Tunisie, 20-23/9/1995), p. 67.
- Trigui A., Khlif M., Grati-Kammoun N. Et Chaari-Rekhis A., 1995. "Résultats préliminaires de l'identification variétale de l'olive du sud de la Tunisie". OLEA 23, Septembre 1995 (Abstracts of the Ninth Consultation of the Interregional Cooperative Research Network on Olives, Hammamet - Tunisie, 20-23/9/1995), p. 68.
- Trigui A., 1996 (a). "L'Amélioration Quantitative et Qualitative de la Production Oléicole en Tunisie : l'Incontournable Nécessité et les Perspectives de l'Identification et de l'Amélioration Génétique de l'Olivier". OLIVAE, 61, Spécial Tunisie, Avril 1996, 34-40.
- TRIGUI A., 1996 (b). "L'Amélioration Quantitative et Qualitative de la Production Oléicole en Tunisie : Nécessité et Perspectives d'une Restructuration et d'une Amélioration Variétale de l'Olivier". In Actes du Forum ACETEF' 96 "Cherchons Ensemble", (Hammamet-Tunisie, 24-26/5/96), 22-25.

L'ENRACINEMENT DE L'OLIVIER ET SES VARIATIONS EN FONCTION DE LA NATURE DU SOL EN MILIEU ARIDE

B. BEN ROUINA*, H. TAAMALLAH** et A. TRIGUI *

* Institut de l'Olivier B.P. 263 3018 Sfax (Tunisie).

** Institut des Régions Arides 4119 El Fjè, Medenine (Tunisie). *

RESUME

L'étude de l'enracinement de l'olivier cultivé en milieu aride, montre que la répartition spatiale des racines qui prennent naissance à la base du pied de l'arbre se fait selon une configuration (nombre, grosseur, profondeur et longueur) variant avec le type de sol. Restant superficielles dans les sols argileux, les racines de l'olivier sont plus nombreuses et prospectent des profondeurs plus importantes (au-delà de 3 m) dans des sols sableux. La prospection du système racinaire traçant, réalisée par le suivi de l'extension des grosses racines à partir du tronc, montre qu'à l'âge de 80 ans, celles-ci s'étendent sur 17 à 22 mètres à partir du tronc selon la nature du sol. Le nombre moyen de leurs ramifications (secondaires, tertiaires et chevelu) à différentes profondeurs est tributaire du type de sol. L'importance du réservoir sol en eau, influe sur les caractéristiques qualitatives et quantitatives du système racinaire (tributaire à son tour de la pédologie du sol), et conditionne la production annuelle moyenne des arbres. Celle-ci varie de 14 Kg d'olives par arbre et par an sur sol argileux marginal, à 65 Kg par arbre et par an sur sol sableux profond.

Mots clés : Olivier, enracinement, production, sol, aride.

SUMMARY

The study of the rooting of olive tree planted in arid area shows that the distribution manner of roots extension (number, length and diameter of roots and their depth of installation) depends on soil nature. In fact, the roots are grown superficially in gypseous clayey soil (depth < 80 cm). They prospect beyond 3 meters in sandy soil and insure tree growth and production. The follow-up of the main roots of the olive tree shows a significant difference between those planted in sandy or in clayey soils. Their length varied from 17 meters by main root in the fringing soil to 22 m in sandy one. Furthermore, their ramifications number and classification by depth groups depend on soil quality and its various strata. So, rooting process governed olive tree crops whose means had varied from 14 kg per tree and per year in the gypseous clayey soil, up to 65 kg by tree by year in sandy soil.

Key words : olive tree, rooting process, soil, arid area, production.

I - INTRODUCTION

L'étude au champ des modes d'installation du système racinaire de l'olivier est indispensable à la compréhension de la grande adaptation de cet arbre aux sécheresses quasi-permanentes de la Tunisie aride (25 mm de pluie au chaâl, entre septembre 1994 et août 1995). En outre, elle permet d'évaluer l'influence des caractéristiques du sol et des façons culturales, sur le développement et la progression des racines entre les agrégats (rôles de la texture, de la structure et de la porosité).

Etudiant les relations racines-sol-eau, Caldwell (1976), montre que le système racinaire d'une plante donnée s'étend, latéralement et en profondeur, en fonction de la nature du sol (texture et structure), de son potentiel hydrique et des obstacles mécaniques qui entravent cette élongation.

Toutefois, il est admis que l'influence du sol ne s'exerce pas seulement sur l'élongation des racines, mais aussi sur la rhizogénèse (Dourado-Neto et al. 1996; Callot et al. 1982). Sur jeune plant de blé, la longueur totale du système racinaire est de 2.520 mm dans le sol argileux et 17.466 mm dans le sol sableux. Dans ces mêmes

Avec la collaboration technique de MM. : M. Mlaouah, M. Yousfi, A. Ouled-Amor et T. Harrabi.

conditions, le nombre des racines secondaires est 5 fois plus important en sol sableux, malgré des niveaux en éléments nutritifs comparables.

Analysant la densité racinaire d'une végétation de steppe (*Atriplex confertifolia*), Fernandez et Caldwell (1972, cités par Caldwell, 1976), montrent que l'élongation des racines, se fait dans le but précis de remplacer des racines non fonctionnelles par de nouvelles formations. Cette régénération est étroitement liée à la nature du sol et à son potentiel hydrique. En outre, la profondeur d'enracinement ne suit pas un modèle physique prédéterminé, mais se fait dans le seul but d'assurer à la plante un optimum nutritif pour faire face à des besoins trophiques urgents, surtout en période de sécheresse.

Dans cette même perspective, Maertens et al. (1980), constatent que certaines plantes ont des capacités d'absorption élevées même aux conditions hydriques les plus difficiles. Cette faculté découle du développement d'un système racinaire puissant augmentant les chances de rencontrer dans le sol, de sites favorables à leur alimentation.

Sur olivier (*Olea europea*), des études intéressantes l'extension du système racinaire ont été tentées pour expliquer son adaptation aux déficits hydriques. La première étude remonte à 1947 (Yankovitch et Berthelot). Dans cette étude si riche en enseignements, les auteurs utilisent une méthode non destructive, basée sur l'établissement d'une tranchée droite de 3 m de long, à un mètre du tronc et dressent une cartographie du système racinaire aussi bien latéral que profond.

Ils démontrent que la puissance de l'enracinement de l'olivier est tributaire du sol. Ainsi, les racines pivotantes peuvent prospecter une profondeur de 5 m sur sol sableux profond, alors qu'elles se contentent du premier mètre de profondeur en sol limono-argileux peu profond.

Etudiant la contribution des racines superficielles et moyennes dans l'absorption des éléments nutritifs par l'utilisation d'un traceur radioactif (^{32}P), Scharpenseel et al. (1966), mettent en évidence, sur des oliviers de 9 ans d'âge, deux zones favorables à l'application des engrais. Il s'agit de celle située directement autour du tronc (indiquant la présence de racines pivotantes) et celle située de part et d'autre, à 5 m du tronc de l'arbre (racines latérales).

Sur jeunes oliviers de 5 ans du cultivar Kalamon, irrigués par goutte à goutte, Michelakis et Vougioucalou (1988), montrent que la densité des racines dans les différents horizons prospectés dépend du potentiel hydrique du sol (doses d'eau d'irrigation). Les taux de racines comptées à l'aide d'une tranchée de 4 mètres de long, 1 m de profondeur et placée à 0,1 m du tronc, dépassent 50 % dans l'horizon 0-60 cm et ne sont que de 1 à 10 % dans l'horizon 80-100 cm de profondeur.

Enfin, il est de l'avis de tous que la connaissance des relations entre les caractéristiques du sol et la croissance racinaire est un élément clef pour la prévision de la distribution spatiale du système racinaire, de sa dynamique et de son architecture. Elle devient nécessaire en milieu aride où les déficits hydriques sont fréquents et où le rôle des racines dans l'adaptation de la culture aux conditions du milieu est décisif (Fernandez et al., 1994).

Pour la description complète in situ des enracinements et de la distribution spatiale du système racinaire d'une plante donnée au cours du temps, nombreuses méthodes ont été utilisées (Baize et Jabiol 1995; Li et al. 1990; Habib et al., 1991). Ces méthodes vont de la cartographie orthogonale des impacts de racines sur le plan horizontal à l'aide de tranchées droites, curvilignes ou spirales, au comptage, mensuration et pesage des racines après leur extraction et lavage, aux prélèvements à la tarière racinaire.

Comme les racines d'un arbre donné ne peuvent généralement être extraites en totalité du volume de sol dans lequel elles évoluent, il est nécessaire de trouver une méthode autre que celle du carottage adoptée sur maïs par Tardieu et Manichon (1986), sur le mil par Santucci et al. (1992), ou de l'extraction des racines par lavage sur jeunes plants de pêcher cultivés en pots sur la perlite expansée (Pagès et al., 1992).

C'est pourquoi une méthode non destructive basée sur le déterrement de la base du tronc et de certaines racines principales (sur toutes leurs longueurs), puis l'aménagement de tranchées profondes de 3 m sur 4 octants intercalés, situés sur les cercles virtuels de rayons respectifs 6 et 12 mètres du tronc, a été développée pour l'étude in situ du système racinaire de l'olivier.

II - Matériels et méthodes:

Réalisée sur des parcelles plantées entre 1912 (H2B et Z1B) et 1917 (Z5B), cette étude intéresse 3 catégories de sols à pédologie distincte. Les plantations d'olivier, variété population "chemlali de Sfax", sont conduites selon un mode de dry-farming stricte basé sur une succession de façons culturales empêchant la concurrence de toute végétation adventice.

Les arbres conduits en gobelet sfaxien sur un seul tronc, sont d'un volume très important et leurs productions d'olives en années d'abondance peuvent atteindre des records de 500 Kg/arbre en sol sableux profond.

La prospection des racines est réalisée de la manière suivante : sur trois arbres / parcelle, on déchausse la base du tronc et les racines principales selon un cercle de 2 mètres de rayon sur une profondeur de 70 cm. Trois racines principales qui partent dans des directions diamétralement opposées sont déterrées sur toute leur longueur. Sur ces racines, les ramifications primaires (départ de racines secondaires) sont répertoriées, de même que leurs diamètres à différentes distances et leurs longueurs.

Pour évaluer l'importance de leur masse racinaire, 3 autres oliviers représentatifs de la population de chaque parcelle, ont servi pour les fouilles. Comme les oliviers sont plantés selon un écartement carré de 24x24 m, cette surface carré est divisée en huit octants et les fouilles sont réalisées sur 2 cercles de rayons respectifs: 6 et 12 m (à partir du tronc). Les tranchées creusées ont une profondeur de 3 m. Elles sont réalisées selon un dispositif en discontinu (4 octants sur 8, par cercle), afin de tenir compte de la dissymétrie due au gradient sol, si elle existe.

Sur chaque octant, le comptage des racines est réalisé dans la surface délimitée par un cadre métallique de 1x1 m, accolé à la tranchée du côté de l'arbre. Le quadrillage carré de 20x20 cm, fait que ce cadre métallique de 1m² est subdivisé à son tour en 25 placettes élémentaires de 0,04 m² de surface unitaire qui permettent, outre le comptage, la cartographie des racines. Ce comptage est réalisé sur toute la profondeur d'enracinement, qui dépend de la nature du sol.

Par ailleurs, nous signalons que ce comptage a intéressé 3 relevées par octant, soient 12 relevées par cercle de 6 ou de 12 m de rayon. Les racines sont répertoriées selon 4 catégories de diamètres; à savoir: < 2 mm (racines très fines et fines), 3-10 mm (racines moyennes), 11-20 mm (grosses racines) et plus de 20 mm (racines très grosses).

III - Résultats et discussions

1- Etude de la pluviométrie

Appartenant au climat méditerranéen aride, étage inférieur, la localité du Chaâl reçoit une pluviométrie annuelle moyenne de 185 mm. Durant la période 1939 - 1995, les pluviométries enregistrées sont identiques pour les trois parcelles d'étude. Elles sont respectivement de 186,8 mm à la ferme Zitouna et 179,8 à la ferme Hachichina.

Outre leurs quantités insuffisantes, ces pluviométries se caractérisent par des irrégularités annuelles apparentes. Au cours de 57 années d'observation, les pluviométries étaient 31 fois inférieures à la moyennes, 10 fois égales à la moyenne et 16 fois supérieures à la moyenne. Par ailleurs, un maximum de 432 mm de pluies a été enregistré en 1969/70 et un minimum de 24 mm en 1994/95 (fig. 1).

Au cours d'une même année, des irrégularités mensuelles et inter-saisonnières sont enregistrées. En effet, 73,2 % des pluies tombent entre septembre et fin mars et seulement 26,8% entre avril et fin août. Par ailleurs, durant la période d'étude on a enregistré 180 mois (26,3% du total) à pluviométries nulles. Si on applique la notion des pluies utiles, ce taux s'élève à 56%.

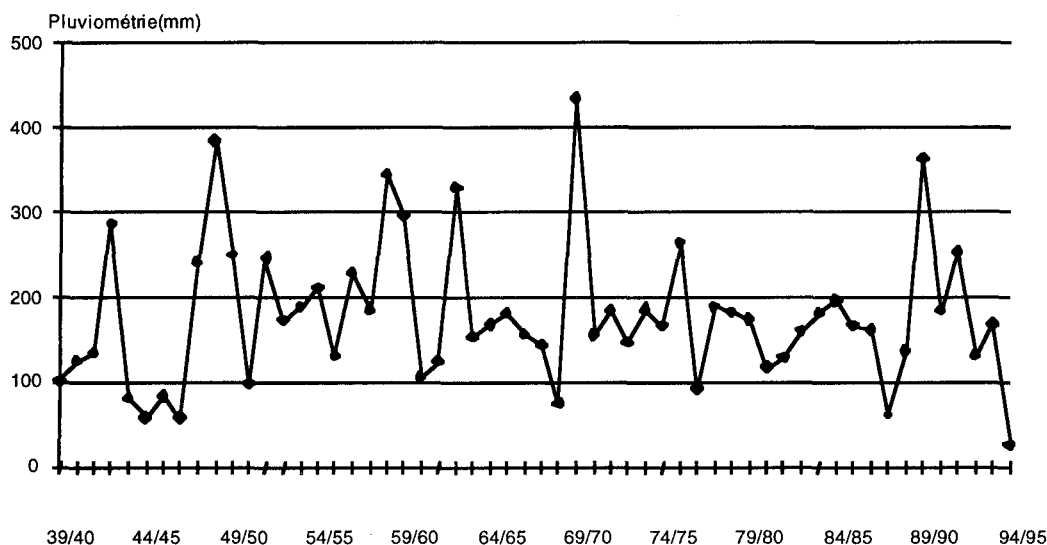


Figure 1 : Evolution annuelle de la pluviométrie enregistrée au cours des 57 années d'étude à la ferme Zitouna (Chaâl).

2 - Caractérisation physico-chimique du sol :

Faisant partie des basses plaines méridionales (basses steppes), la morphologie de la zone d'étude est monotone avec une pente très douce vers la mer, à l'exception de quelques petites buttes qui émergent au sein des champs d'olivier. Le sol est constitué de dépôts alluviaux, colluviaux et éoliens du quaternaire récent. De profondeur variable et surmontant un dépôt argilo-gypso-sableux plus ou moins salé du Miopliocène, le sol est de couleur jaunâtre riche en trames cristallines gypseuses.

Malgré leurs diversités pédologiques, les différents types de sols étudiés présentent des caractéristiques physiques et chimiques similaires qui se résument comme suit :

- une grande porosité de l'horizon de surface permettant la pénétration de la quasi totalité des eaux de pluie et la réduction des pertes par ruissellement. De ce fait et malgré une faible capacité de rétention de l'eau en surface, les réserves hydriques sont satisfaisantes au niveau des couches profondes (humidité volumique moyenne de 12.8 % à pF 2,7 et 6.5 % à pF 4,2 avec une densité apparente de 1,6);

- des gradients inversés de matière organique et du calcaire, indiquant un faciès isohumique ;

- malgré ce faciès isohumique, ces trois sols sont très pauvres en matière organique (< 0.5 %), avec une capacité d'échange très faible, saturée essentiellement avec du calcium. Le pH rencontré sur l'ensemble du profil (de l'ordre de 8), est caractéristique des formations sableuses et sablo-argileuses du Centre et du Sud tunisiens.

- Les teneurs en azote total et de phosphate assimilable sont très faibles. Leurs valeurs respectives varient entre 0.03 à 0.04 % pour N et de 0.001 à 0.002 % pour P. Par contre, les teneurs de potassium échangeable sont normales (0.015 %).

La description physico-chimique des divers horizons constituants des trois sols montre les caractéristiques suivantes :

a - Parcelle H2B :

S'agissant d'un bas fond, le sol de cette parcelle est très profond (> 2,5 m). De texture sableuse à sables fins en surface et sablo-argileuse en profondeur, il présente des faibles teneurs en calcaire et un gradient croissant de gypse en fonction de la profondeur. Ce qui influe la conductivité électrique qui passe de 0,3 mS/cm en surface à 5,3 mS/cm à 3 m de profondeur (Tab. 1a).

Tableau 1a : Composition physico-chimique des différents horizons du sol de la parcelle Hachichina H2B.

Profondeur (cm)	Granulométrie en %					MO (%)	Calcaire (%)		Gypse (%)	pH	CE mS/cm
	A	L	STF	SF	SG		total	actif			
0-20	4,5	0,5	7,5	78,9	5,9	0,1	4,2	1,5	0,8	8,1	0,31
20-115	1,8	0,5	6,3	79,5	4,4	0,4	5,3	2,1	1,4	8,0	0,24
115-125	Eboulie d'oued										
125-185	9,3	3,3	7,7	74,2	2,1	0,3	8,3	5,5	1,5	8,1	0,25
185-235	23,0	0,8	54,5	14,3	3,1	0,2	14,6	10,5	4,8	8,0	5,33

b - Parcelle Z1B :

Sur cette parcelle, le sol est relativement profond (> 1,8 m), sa texture est sableuse à sables fins. Sa surface est facilement érodable par le vent, avec une concentration en amas et en nodules carbonatés en profondeur et un gradient décroissant en matière organique (Tab. 1b).

Tableau 1b : Composition physico-chimique des différents horizons du sol de la parcelle Zitouna Z1B.

Profondeur (cm)	Granulométrie en %					MO (%)	Calcaire (%)		Gypse (%)	pH	CE mS/cm
	A	L	STF	SF	SG		total	actif			
0-10	Voile éolien										
10-25	4,8	1,5	6,5	57,6	28,7	0,5	6,2	2,5	0,3	8,1	0,51
25-75	4,5	2,0	5,8	44	41,8	0,5	8,3	3,0	0,4	7,9	0,85
75-135	9,8	2,8	6,8	49,5	28,7	0,1	9,2	4,1	0,2	8,0	1,2
135-185	13,5	10,5	5,2	61,3	7,9	0,1	17,7	9,5	0,2	8,2	0,42

c - Parcelle Z5B

Afin d'étudier l'impact des sols considérés comme marginaux sur l'enracinement, la croissance et la fructification de l'olivier, la parcelle Z5B a été choisie. Très pauvre en matière organique et relativement riche en gypse, ce sol peu profond (75 cm), est constitué d'un substratum sablo-argilo-gypseux du Miopliocène (Tab.1c).

Tableau 1c : Composition physico-chimique des différents horizons du sol de la parcelle Zitouna (Z5B).

Profondeur (cm)	Granulométrie en %					MO (%)	Calcaire		Gypse (%)	pH	CE mS/cm
	A	L	STF	SF	SG		total	actif			
0-20	10,8	8,3	6,4	71,8	1,9	0,2	10,8	4,0	5,3	8,0	2,5
20-75	11,5	10,3	5,5	68,8	0,8	0,17	15,2	9,0	6,3	8,9	2,8

3 - Caractérisation de l'enracinement de l'olivier chemlali**a - Les racines principales traçantes**

A la base du tronc, au niveau du collet partent légèrement en oblique des racines principales sur lesquelles s'insèrent des racines latérales superficielles. Le nombre de ces racines, leurs longueurs et profondeurs d'installation sont tributaires de la nature du sol.

En effet, sur sol sableux profond (parcelle H2B), Le nombre moyen de racines par arbre est de 17. Leur longueur moyenne unitaire est de 23,9 m; soit une longueur totale de 406 m par arbre. Elles s'installent à une profondeur moyenne de 37cm et ont un diamètre moyen de 11,9 cm. Sur sol sablo-argileux moyennement profond (parcelle Z1B), le nombre moyen de racines principales traçantes est de 19. D'une longueur moyenne de 19,5 m/racine, leur longueur totale est de 371 m et leur profondeur d'installation est de 33,5 cm.

Sur sol sablo-argilo-gypseux peu profond (parcelle Z5B), les racines primaires traçantes sont plus abondantes puisque leur nombre moyen est de 24 racines/arbre. Toutefois, elles sont plus petites (6,5 cm de diamètre), superficielles (20 cm de profondeur) et d'une longueur moyenne de 16,4 m; soit 394 m de racines principales traçantes par arbre (Tab.2).

Tableau 2: Caractérisation de l'enracinement principal de l'olivier chemlali de Sfax, planté en milieu aride sur 3 catégories de sol. Les arbres sont âgés de 84 ans pour les parcelles H2B et Z1B et 79 ans pour la parcelle et Z5B.

Parcelle	Nombre moyen de racines principales /arbre	Longueur moyenne d'une racine (m)	Profondeur moy. de l'enracinement principal (cm)	Diamètre moyen d'une racine principale (cm)
H2B	17 a*	21.3 b	37 c	12.1 b
Z1B	19 a	19.5 ab	33.5 b	11.9 b
Z5B	24 b	16.9 a	19.8 a	8.5 a

* les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes au seuil de 5 % (test Anova).

Bien que les observations soient limitées à 70 centimètres de profondeur au niveau de la base du tronc, les résultats exprimés dans ce tableau montrent que les racines principales traçantes sont d'un nombre élevé. Leur effectif dépend d'une façon significative de la nature du sol (Analyse de variance, seuil de 5%) et varie de 17 unités en sol sableux profond à 24 unités par arbre en sol sablo-argilo-gypseux superficiel, soit un écart de 30 %.

Cependant, malgré leur nombre relativement important en sol sablo-argilo-gypseux, leur longueur unitaire est nettement plus faible. Cela donne des longueurs cumulées par arbre, identiques. En outre, leurs profondeurs moyennes d'installation sont fortement tributaires de la nature du sol; puisqu'elles évoluent de 20 cm en sol sablo-argilo-gypseux superficiel fortement compacté (Z5B), à 37 cm en sol sableux profond (H2B).

Quoique leurs effets sur l'alimentation hydrique des arbres soient non quantifiés, ces profondeurs d'enracinement ont probablement un effet positif sur l'absorption racinaire qui se traduit par une meilleure croissance végétative des arbres et une production élevée. Cela découle du fait que les horizons superficiels soient constamment moins humides que ceux plus profonds. Ces observations vont de paire avec les productions d'olives qui sont fortement affectées par la nature du sol (différences hautement significatives entre les trois types de sols) et confirment nos travaux antérieurs, relatifs à la relation entre les façons culturales, l'humidité du sol, la croissance et la production des oliviers (Ben Rouina 1996; 1995 et 1994).

b - Le système racinaire ramifié:

Le comptage des racines au niveau des tranchées aménagées à 6 et 12 mètres du tronc, laisse apparaître une abondance extraordinaire de celles-ci. Par arbre, on dénombre en fonction de la nature du sol, entre 5000 et 6500 racines au niveau de la tranchée de 6 m et de 5500 à 8400 racines au niveau de celle creusée à 12 m (Tab. 3).

Bien que la longueur totale du système racinaire de l'arbre n'avait pas été déterminée (cela suppose l'extraction de toutes les racines et leur mensuration), le nombre total de racines par arbre est nettement plus important en sol sableux qu'en sol argileux. Les écarts enregistrés entre les arbres de la parcelle H2B et ceux de Z5B sont de 19 % à 6 m et de 35 % à 12 m du tronc. Statistiquement, les différences observées sont significatives pour la tranchée de 6 m et hautement significatives pour celle située à 12 m. Ces différences mettent en évidence l'influence du sol sur la rhizogenèse et éventuellement sur la surface de contact milieu-plante et sur la colonisation du sol; ce qui se traduit par un effet hautement significatif sur la fructification des arbres.

Tableau 3 : Nombre total des racines comptées par arbre, à 6 et 12 mètres du tronc de l'olivier chemlali, en relation avec la nature du sol.

Profondeur de l'horizon (cm)	Parcelle H2B		Parcelle Z1B		Parcelle Z5B	
	6m	12 m	6 m	12 m	6m	12 m
0-20	1418	1243	2524	2670	2406	2072
20-40	1705	3610	1661	2261	1507	2404
40-60	1419	1907	944	1426	746	836
60-80	445	784	592	1002	268	188
80-100	354	392	355	535	26	75
100-120	303	274	316	294	0	0
120-140	253	106	50	35	0	0
140-160	144	38	17	36	0	0
> 160	39	7	0	0	0	0
Total	6080 b*	8361 B**	6459 b	8259 B	4953 a	5575 A

* les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes au seuil de 5 % , et ** au seuil de 1 % (test Anova).

En regardant la répartition des racines à travers les différentes profondeurs prospectées, il est évident que la texture du sol influe considérablement sur le volume de terre exploité par celles-ci. En sol argileux fortement compacté, la résistance mécanique opposée par le milieu, limite cette profondeur d'installation; puisque 80% des racines sont superficielles et se situent à moins de 40 cm de la surface et seules 20 % entre 40 et 100 cm. Par ailleurs aucune racine n'est rencontrée au-delà de 1 m de profondeur aussi bien à 6 qu'à 12 mètres du tronc.

Par contre, en sol sableux moyen, ces mêmes taux sont de 62 % dans la classe de surface, 33 % dans celle allant jusqu'à 1 m et 5 % au-delà de 1 m de profondeur. Ces mêmes taux sont respectivement de 55 %, 37 % et 8 % dans un sol sableux profond. En outre, quoique leur nombre soit limité certaines racines très fines et fines ont été rencontrées à des profondeurs supérieures à 3 mètres.

Ces observations montrent que le système racinaire de l'olivier dépend essentiellement des caractéristiques du sol dont principalement la texture, la porosité et la structure; puisque celui-ci est excessivement important (d'un point de vue purement quantitatif) en sol sableux filtrant et moins important en sol lourd imperméable. Par ailleurs, ces mêmes observations ont permis de constater que la profondeur d'installation n'est pas caractéristique de l'espèce ou de la variété mais du sol.

Malgré le caractère un peu arbitraire de la classification utilisée (puisqu'on a utilisé une classification intermédiaire entre STIPA82 et ISO92), l'examen du tableau 4, montre que l'enracinement de l'olivier est composé essentiellement de racines très fines et fines dont l'épaisseur n'exède pas 2 mm (70 à 80 % de la masse) et de racines moyennes dont le diamètre varie de 3 à 10 mm (19 à 28 %). Quant à celles grosses et très grosses, elles ne représentent respectivement que de 0.7 à 1.6 % et de 0.3 à 0.5 % du total.

Tableau 4 : Répartition des racines selon leurs diamètres moyens à 6 et 12 mètres du tronc selon les normes ISO92 et STIPA82).

classe de diamètres	Parcelle H2B		Parcelle Z1B		Parcelle Z5B	
	6m	12 m	6 m	12 m	6m	12 m
< 2 mm	3538	5420	4936	6702	3965	4434
3 - 10 mm	2443	2758	1458	1491	920	1105
11 - 20 mm	84	173	45	53	47	33
> 20 mm	15	10	20	13	21	3
Total des racines /arbre	6080 b	8361 B	6459b	8259 B	4953 a	5575 A

* les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes au seuil de 5 % , et ** au seuil de 1 % (test Anova).

4 - Relations entre l'enracinement et la production de l'olivier

L'examen de la production annuelle moyenne des 3 parcelles d'étude (Fig. 2), confirme les résultats présentés par Trigui (1987, 1993), indiquant que "la production de l'olivier chemlali a toujours été caractérisée par une fluctuation en dents de scie avec des années plus et d'autres moins, dues aux conditions intrinsèques (caractéristiques variétales) et extrinsèques (effets du milieu et des techniques culturales), mais très accentuées au cours des périodes sèches".

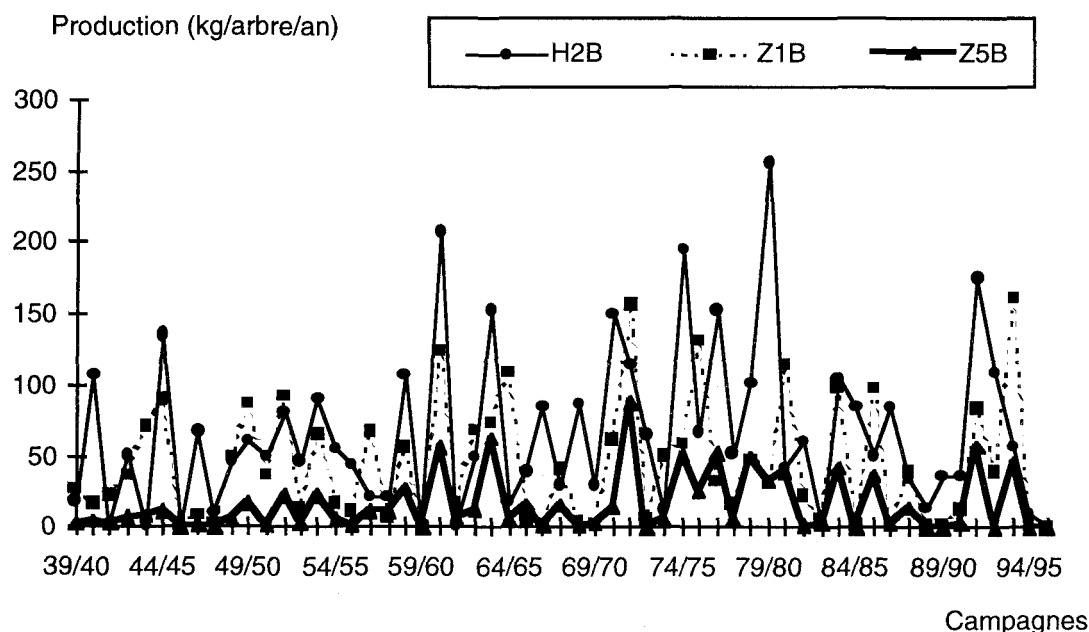


Figure 2 : Evolution annuelle de la production de l'olivier chemlali planté sur trois catégories distinctes de sols.

Pour la parcelle H2B, la production annuelle moyenne (durant toute la période d'étude) est de 65 kg. La production maximale jamais égalée est de 256 kg par arbre au cours de la campagne 79/80; quant à celle minimale, elle est de 2 kg enregistrée 4 fois. Pour la parcelle Z1B, la moyenne annuelle par arbre est de 45 kg avec un maximum de 161 kg en 1993/94 et un minimum de 1 kg enregistré à 8 reprises. Par contre, pour les arbres de la parcelle Z5B, la production annuelle moyenne n'est que de 14 kg, avec un pic de 89 kg/arbre réalisé en 1972/73, 7 fois des productions nulles et 16 fois inférieurs à 2 kg.

L'analyse des relations entre l'enracinement de l'olivier et sa production d'olives est étudiée ailleurs (Ben Rouina et Trigui, 1996). Elle montre l'existence d'une relation de dépendance très hautement significative entre ces deux paramètres.

IV - Conclusion:

L'étude de l'extension "in situ" du système racinaire de l'olivier montre que celui-ci est fortement tributaire du sol (texture, porosité et structure). Pour des arbres d'un âge compris entre 80 et 87 ans, de variété chemlali, cultivés sous le climat aride du sud tunisien où la pluviométrie moyenne n'excède pas 200 mm, le nombre de racines principales par arbre est statiquement dépendant de la nature du sol. En effet, plantés sur un sol argilo-gypseux superficiel, les arbres développent un nombre moyen de 24 racines principales. Ce même nombre n'est que de 17 en sol sableux profond.

Cependant, il n'en est pas de même pour les racines fines qui assurent l'alimentation hydrique de l'arbre; puisque par olivier, l'effectif total des racines comptées à 12 m du tronc s'élève à 8361 en sol sableux contre seulement 5575 en sol argilo-gypseux. Les écarts ainsi enregistrés sont de 33.5 % et les différences sont très hautement significatives. Elles permettent d'expliquer les meilleures croissances et productions des arbres cultivés sur bons sols.

Par ailleurs, la longueur, le diamètre moyen et la profondeur d'installation de ces racines sont aussi tributaires du substrat de culture, puisqu'elles évoluent d'une manière statistiquement significative en relation avec le solum. En sol sableux profond, à 6 m du tronc, 55% des racines occupent l'horizon de surface

(0 à 40 cm), 37 % l'horizon intermédiaire (40 - 100cm) et 8% au delà de 1m. En sol argilo-gypseux peu profond, ces taux sont respectivement 80%, 20 % et 0 %. De même, si pour le premier sol, certaines racines fines sont rencontrées à une profondeur dépassant 3 m, pour le deuxième, aucune racine n'a été au delà de 1 m.

De ce fait, le développement des racines est conditionné par les contraintes physiques imposées par le sol et par la nécessité, pour la plante, d'explorer un volume suffisant pour lui assurer une quantité d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires à sa croissance et à sa production. Ainsi, il est évident que l'effet de la texture du sol ne s'exerce pas seulement sur l'élongation des racines mais également sur la rhizogenèse qui influence bien entendu la longueur totale des racines émises. Ce qui n'est pas sans conséquences sur la fructification des arbres.

Par ailleurs, ces résultats montrent que la production des arbres est tributaire de la pluviométrie (années plus et années moins) et surtout de la nature du sol; puisqu'en 57 années de suivi, les productions annuelles moyennes de l'arbre évoluent de 14.5 kg/arbre/an sur sol argilo-gypseux à 45 et 65 kg respectivement selon que le sol soit sableux de profondeur moyenne ou forte.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui logistique de l'Agrocombinat du Chaâl. Que tout son personnel technique et surtout son Directeur M. Ali Boudabbous et son adjoint M. Hédi Skaina, trouvent ici notre parfaite reconnaissance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baize D. et Jabiol B., 1995 : Les racines. p163-174. In Guide pour la description des sols. Eds de l'INRA 1995.
- Ben Rouina B. 1996 : Effet des façons culturales sur l'évolution du régime hydrique et des propriétés agronomiques des sols à olivier. *Revue Ezzaitouna*, 2 (1et2); 41-57.
- Ben Rouina B., 1995. L'entretien des sols à olivier en milieu aride: conséquences agronomiques et maîtrise par l'agriculteur. *Cahiers Options méditerranéennes*. Vol.9;125-134.
- Ben Rouina B., 1994. Effets des façons culturales sur le régime hydrique des sols plantés en olivier en milieu aride. *Revue Ezzaitouna*, 1 (1), 1994; 14-25.
- Ben Rouina B. et Trigui A., 1996 : Evolution de la production de l'olivier chemlali en milieu aride en relation avec la nature du sol. (Abstract) In 3èmes Journées Nationales sur les Acquis de la Recherche Agronomique, Vétérinaire et Halieutique. IRESA, Nabeul 29/11-1/12/96.
- Dourado-Neto D., Câmara G. M. et Bernades M. S., 1996 : Simulation of root growth and water balance : a new approach. *Ag Eng Madrid 1996*, Vol 2, pp 597-598.
- Fernandez J. E., Moreno F., Martin-Aranda J. et Rapoport H. F., 1994 : Anatomical response of olive roots to dry and irrigated soils. *Adv. Hort. Sci.*, 8 (1994): 141-144.
- Habib R., Pagès L., Jordan MO., Simonneau T. et Sébilotte M., 1991. Approche à l'échelle du système racinaire de l'absorption hydro-minérale. Conséquences en matière de modélisation. *Agronomie (1991)* 11, 623-643.
- Li S. H., Hugué JG., Schoch PG., et Bussi C., 1990 : Réponse de jeunes pêchers cultivés en pots à différents régimes d'alimentation hydriques. II : Effet sur la croissance et le développement. *Agronomie (1990)* 10, 353-360.
- Maertens C. et Clauzel Y., 1980 : Rôle du flux de sève brute dans les racines sur l'absorption de l'azote nitrique, du potassium et du calcium par le système racinaire du jeune plant de maïs. *CR Acad Sci Paris, Série D*, 290, 1285-1287.
- Michelakis N. et Vougioucalou E., 1988 : Water used, root and top growth of olive trees for different methods of irrigation and levels of soil water potential. *Olea*, 19 : 17-31.
- Pagès L., Chadoeuf J. et Kervella J., 1992 : Modélisation stochastique de la croissance et du développement du système racinaire de jeunes pêchers. I. Estimation et validation du modèle. *Agronomie (1992)* 12, 447-458.
- Santucci P., Thiery JM., Daouda Ousmane S., Do F. et Marini P., 1992 : Contribution à l'étude des profils racinaires du mil et méthode de calcul de la biomasse racinaire sous le poquet. *Rev. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 1992, 4, 25-34.
- Scharpenseel H. W., Essafi A. et Bouguera A., 1966 : Etude de la puissance d'absorption des ions nutritifs par les racines de l'olivier par application d'acide phosphorique ou de superphosphate marqué avec ³²P. *Annales de l'INRAT*, Vol 39. fasc. 1, 27p.
- Tardieu F. et Manichon H., 1986 : Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. I.- discussion des critères d'étude. *Agronomie*, 1986, 6 (4), 345-354.

- Trigui A., 1993. El medio de cultivo del aceituna en condiciones aridas: ideas tradicionales y nuevas. Simposium Científico- Técnico "Expoliva 93" Jaen, Espana, Mayo 93. 6p.
- Trigui A., 1987. Relations entre le climat, le sol et la production de la variété d'olivier chemlali dans la région de Sfax. Thèse de Doctorat d'Etat es - Sciences. U.S.T.L. du Languedoc, Montpellier (France), 1987, 433p + Annexes.
- Yancovitch L. et Berthelot P., 1947 : Rapport sur l'enracinement de l'olivier et des autres espèces fruitières en Tunisie. Annales de l'INRAT, Vol 20, 109-176.

APPORT DES MYCORHIZES DANS LE DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES VEGETALES DES ZONES ARIDES : CAS DU PALMIER DATTIER

L.BOUHIRED*, N. ACHAB et F.BENMISSOUM

* Unité de recherche sur les zones arides (URZA), B.P 44,
Alger Gare 16000, Algérie

RESUME

Le terme mycorhize reste encore aujourd'hui peu connu particulièrement dans les pays en développement. Il décrit, pourtant, un état de symbiose très largement répandu dans la nature et peut avoir une importance non négligeable dans la lutte contre la désertification et permettre la sauvegarde de l'écosystème oasien. En effet, la mycorhization concerne 95 % des espèces végétales et se retrouvant donc sur toutes les racines des plantes ligneuses comme sur celles des plantes de grande culture. Elle se rencontre dans tous les écosystèmes et c'est précisément dans les écosystèmes oasiens où le climat est difficile que les mycorhizes expriment le mieux leurs capacités. D'autant plus que leur formation modifie la physiologie des racines en améliorant le comportement vis-à-vis de certains facteurs limitant le développement des plantes tels que l'attaque par certains germes pathogènes du sol, la tolérance à la salinité du sol ou au calcaire.

L'étude sur les mycorhizes du palmier dattier à l'U.R.Z.A nous a permis de constater la présence dans les racines de différents cultivars algériens et d'observer dans les sols de différentes palmeraies la présence de nombreuses espèces fongiques mycorrhizogènes.

De plus d'autres travaux menés en serres ont confirmé la reprise des plantules issues de noyaux de 3 cultivars de palmier dattier, après repiquage et l'augmentation de leur croissance sous l'effet de l'endomycorhization.

Suite à ces résultats, nous envisageons au cours de cette année de pratiquer cette étude sur des rejets non enracinés afin de vérifier la capacité des mycorhizes à permettre leur reprise après séparation du pied mère et l'augmentation de leur croissance. Dans le même but la même étude devrait être effectuée sur des plantes micropropagées sur lesquelles les mycorhizes doivent aussi jouer un rôle important dans leur acclimatation comme cela a déjà été démontré sur le palmier à huile.

SUMMARY

The term mycorrhiza is relatively unknown especially in developing countries. It is a symbiotic stage widely encountered in the nature and could have an important impact in combating desertification and the protection of the oasis ecosystem. In fact, the natural mycorrhizal inoculation concerns 95% of vegetation species. It is found on the roots of the perennial species as well the annual crops of all ecosystems. However, it is in the oasis ecosystem where the mycorrhiza show the best their capacities. They modify the physiology of the roots by improving their behaviour towards certain factors hindering the development of plants such as, pathogenic bacteria, salinity, calcium, etc.

The studies carried out at URZA have shown the presence of mycorrhizal fungi in the roots of the algerian date palm cultivars as well as in the soil of the oases.

The green house trials confirmed the regeneration of new plants issued from planting out of seedlings and the improvement of their growth by artificial mycorrhizal inoculation.

It is also expected to perform this experiment on unrooted shoots to check the impact of mycorrhiza on the growth and the acclimatisation.

INTRODUCTION

Les racines de la majorité des spermatophytes sont normalement colonisées par des champignons qui forment des symbioses bénéfiques appelées mycorhizes et dans lesquelles la fonction physiologique majeure est le transfert aux plantes-hôtes d'éléments nutritifs relativement immobiles dans le sol, tels que le phosphore (1,3,9), le potassium et d'autres minéraux nécessaires à la plante et particulièrement dans les sols dans lesquels le phosphore est très difficilement disponible (1,2,3). En échange les plantes hôtes fournissent les hydrates de carbone pour la croissance du champignon Mycorrhigène.

Parmi les différentes classes de Mycorhizes existantes, les Mycorhizes à vésicules et arbuscules sont les plus répandues aussi bien chez les plantes naturelles que chez les plantes cultivées. Dans cette association le champignon colonise intensément les cellules du parenchyme cortical racinaire en formant des structures particulières les arbuscules et les vésicules (Fig 1), d'où le nom de cette classe de Mycorhizes.

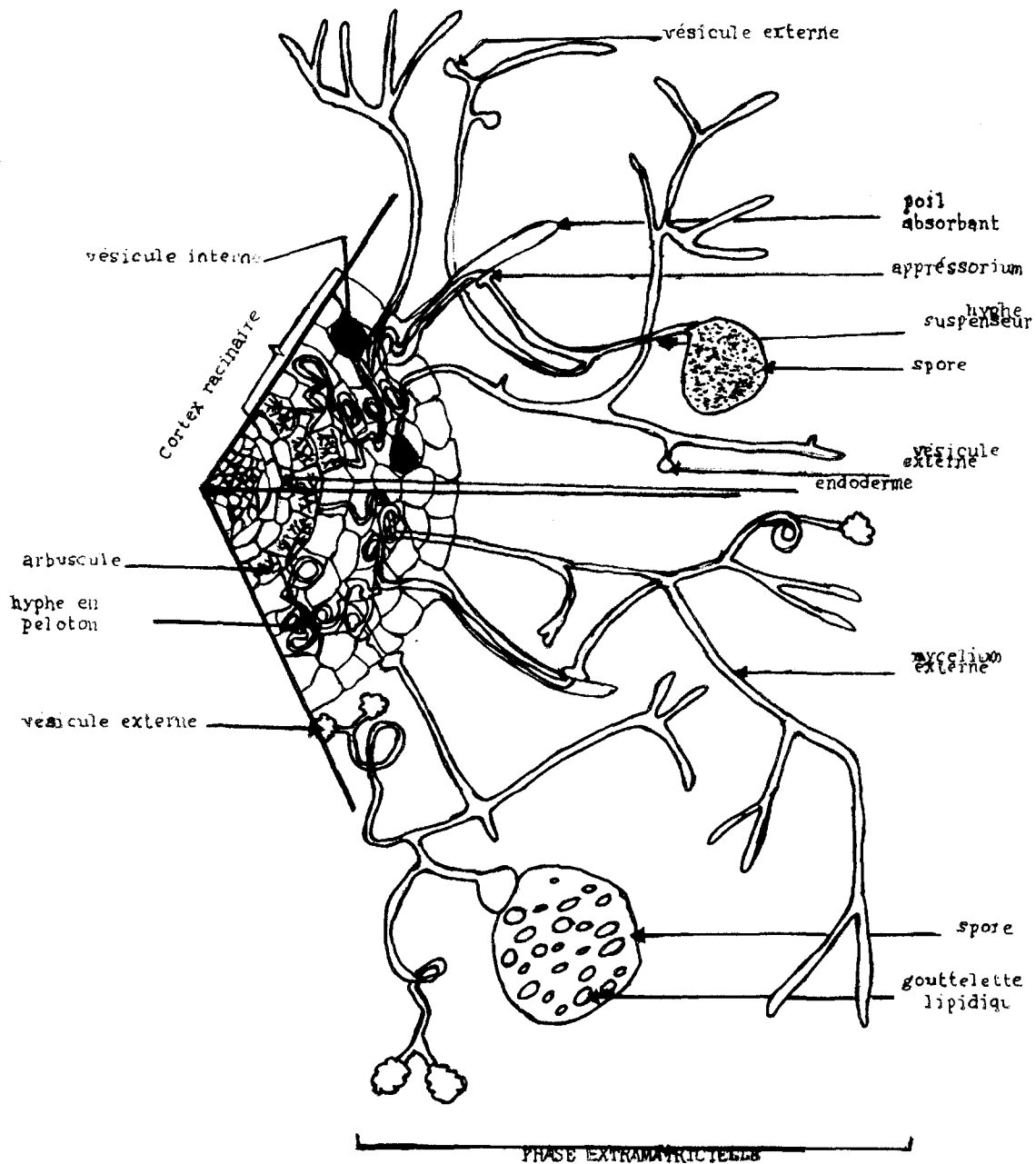


Figure 1: Illustration schématique des endomycorhizes à vésicules et arbuscules (MVA) dans le cortex racinaire et phase extramatricielle du champignon.

Par cet état de fait, le champignon devient une partie intégrante des racines et en conséquence modifie considérablement l'activité biologique de ces organes absorbants et fixateurs de la plante(4).

Ces modifications sont associées à l'augmentation d'un certain nombre de processus physiologiques qui induisent l'amélioration de la croissance et la résistance à de nombreux stress, d'autant plus que le champignon développe à l'extérieur des racines un réseau extramatriciel d'hyphes pouvant se propager de façon importante dans le sol (Fig. 1)(5).

Les Mycorhizes à vésicules et arbuscules sont rencontrées dans tous les écosystèmes à travers le monde. Ils sont sans doute un facteur d'établissement et de survie des plantes dans beaucoup d'écosystèmes et particulièrement dans les écosystèmes extrêmes tel que celui des régions arides (1,6,9 et 14).

En effet leur impact dans la lutte contre la désertification est loin d'être négligeable, ainsi elles permettent:

- Une meilleure nutrition minérale à moindre coût (2,5)
- Une meilleure utilisation de l'eau par la plante grâce à la phase extramatricielle du champignon (6,8,12,13).
- Ce même réseau d'hyphes extramatriciels, induit aussi l'agrégation des grains de sable ce qui a pour effet de limiter l'érosion éolienne (1,6,8,13,15).
- Un des effets intéressants des Mycorhizes est l'augmentation de la résistance ou de la tolérance des racines Mycorhizées à certains pathogènes tels que les champignons, les nématodes et certaines bactéries (17,18,19,20,21 et 22).
- Des travaux ont aussi montré le rôle des Mycorhizes à vésicules et arbuscules dans la réduction de la toxicité due aux sels et à certains métaux lourds présents dans le sol (5,26,27,28 et 29).

Les Mycorhizes ont suscité notre intérêt, aussi nous avons entamé une étude sur les Mycorhizes du Palmier dattier dans notre Unité de Recherche sur les Zones Arides depuis quelques années, la première étape que nous présentons dans cette communication consistait à faire une prospection qui fut suivie par la suite par des études menées en serre afin de vérifier l'effet des Mycorhizes sur la croissance de jeunes plantules de Palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*).

Matériels et méthodes:

1- Etude de prospection:

Il a été effectué une prospection dans 3 palmeraies du Sud-Est, et du Sud-Ouest Algérien. Les analyses consistaient à vérifier la présence des champignons Mycorhizogènes dans les racines de 9 cultivars de Palmier dattier Algérien : Degla-Beïda, Deglet Nour, Takerboucht, Tazarzaït, Tinacer, Ahartane, Tilemsu, Aghamou et Ghars.

Des prélèvements sur 9 individus différents choisis au hasard par cultivar ont été faits. Les racines ainsi que le sol ont été prélevés en triangle à 3 endroits différents, au pied de chaque individu. Les racines après rinçage sont colorées selon la méthode de Kormanick et al. (1980). La récolte des spores à partir du sol a été effectuée selon la technique de Tamisage de Gerdman et Nicolson (1963).

2- Etude menée en serre:

Les noyaux de 3 cultivars de Palmier dattier: Takerboucht, Tinacer et Deglet Nour ont été stérilisés préalablement et mis à germer dans de la vermiculite pendant 4 semaines. Les plantules ont été inoculées au moment de leur transplantation avec une souche de champignon Mycorhizogène identifiée comme étant *Glomus fasciculatum (LPA7)*. La transplantation a été effectuée dans des pots contenant un sol sablonneux. L'expérience s'est déroulée pendant une année en serre et un premier prélèvement a été effectué à six mois. Pour la coloration du champignon à l'intérieur des racines il a été utilisé la technique de Phillips et Haymann(1970).

Résultats:

1- Etude de prospection:

Les résultats des observations des racines de tous les cultivars considérés, ainsi que celles des sols correspondants ont montré la présence des Mycorhizes à vésicules et arbuscules (Fig 2).

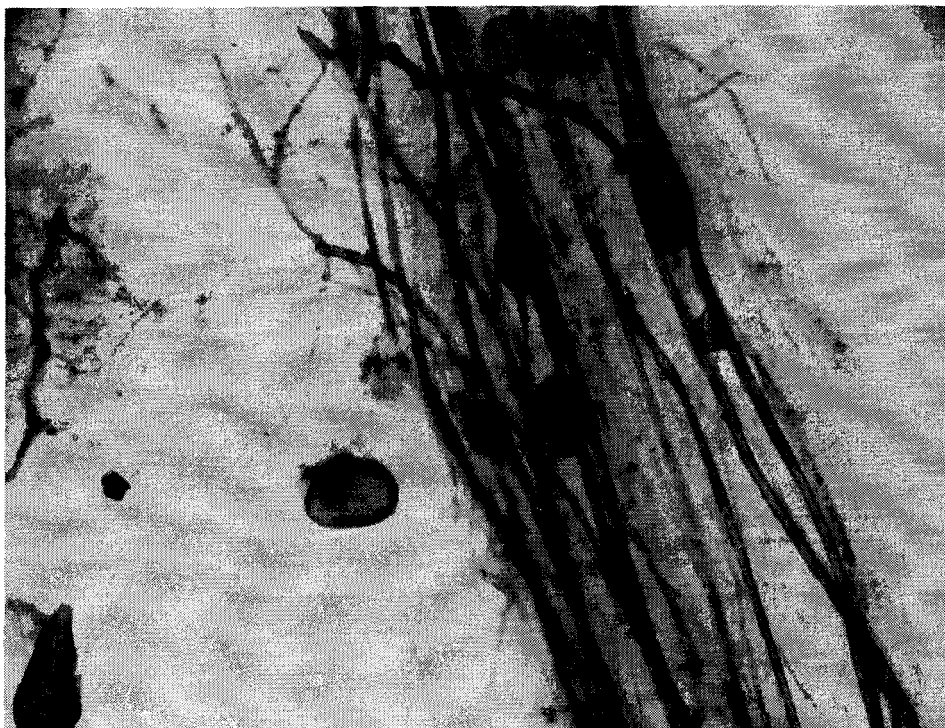


Figure 2: Infection mycorhizienne dans les racines d'arbres de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) agés, prélevées dans la palmeraie

Il a été isolé un certain nombre d'espèces de champignons Mycorhizogènes de la rhizosphère de la plupart des cultivars considérés et dont 2 de ces espèces sont représentées dans la Figure 3.

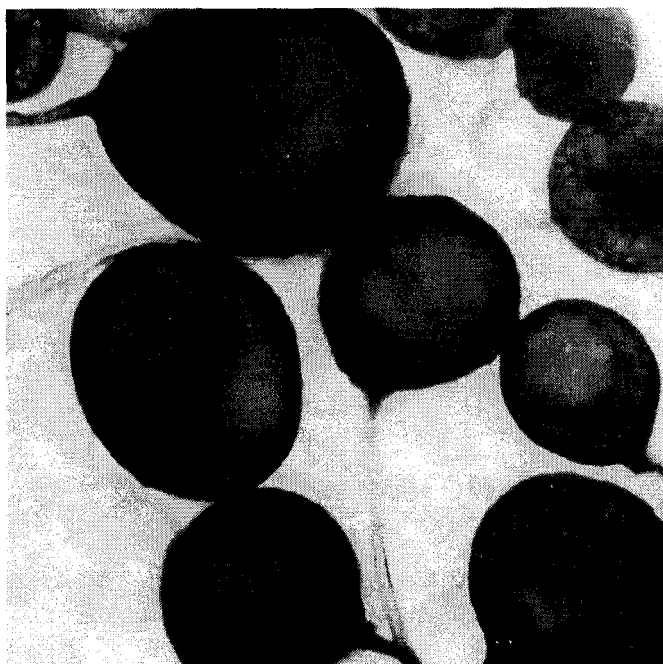


Figure 3: Deux espèces de champignons mycorhizogènes à vésicules et arbuscules isolées de la rhizosphère de palmier dattier agés.

2- Etude menée en serre:

L'expérience menée en serre sur les plantules issues des graines des trois cultivars de Palmier dattier: Takerboucht, Tinacer et Deglet Nour a montré dès le sixième mois, une croissance plus rapide des plantules Mycorhizées par rapport aux plantules non mycorhizées du même âge, et cela avec les plantules issues des graines des trois cultivars (Fig 4). A une année la différence de croissance entre les plantules mycorhizées et non

mycorhizées est devenue encore plus importante pour les trois cultivars, mais particulièrement plus prononcée avec les plantules issues des graines du cultivar Deglet Nour (Fig 5).

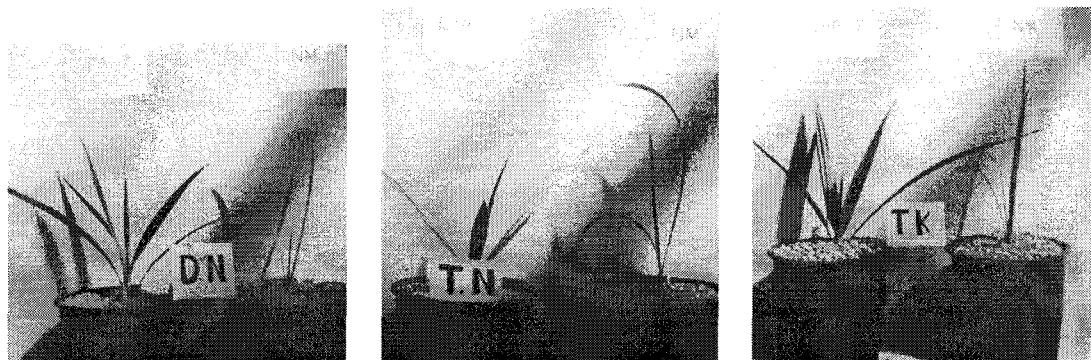


Figure 4: Plantules âgées de six mois, issues des graines des cultivars successivement (de gauche à droite):Takerboucht, Tinacer, et Deglet nour, mycorhizées avec *Glomus fasciculatum* (LPA 7) et non mycorhizées (NM).

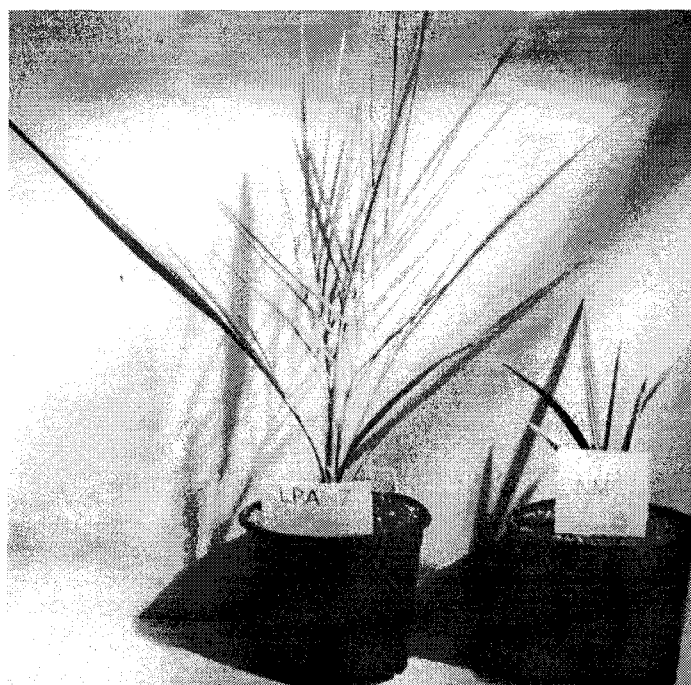


Figure 5: Plantules âgées d'une année, issues de graines du cultivar Deglet nour mycorhizées avec *Glomus fasciculatum* (LPA 7) et non mycorhizées (NM).

L'observation après coloration des racines des plantules Mycorhizées à montré une forte colonisation par l'endophyte.

Discussion et conclusion:

Les résultats obtenus au cours de ces travaux ont permis de confirmer la dépendance du Palmier dattier à la Mycorhization, puisque les racines sont naturellement infectées.

Cependant il est difficile de dire si l'infection de ces racines est faite par une ou toutes les espèces rencontrées dans la rhizosphère correspondante.

Toutefois pour l'expérience menée en serre il a été choisi une des espèces rencontrées dans la rhizosphère des cultivars considérés dans la prospection à savoir *Glomus fasciculatum*.

L'efficacité de cette espèce est confirmée sur la croissance des plantules issues des graines des trois cultivars de Palmier dattier, puisque la différence entre les plantules Mycorhizées et les plantules non mycorhizées est très évidente. L'intérêt de ces résultats est de montrer l'importance des Mycorhizes en particulier dans l'acclimatation des plantules de Palmier dattier produites in-vitro et d'autre part dans la reprise des rejets et des gourmands après leur séparation du pied-mère. D'ailleurs cette application fait l'objet de thèmes de recherche et d'encadrement de Magister dans l'unité de Recherche des Zones Arides.

Nous avons l'espoir que les résultats de ces études pourront convaincre les autorités concernées, de l'importance que peuvent avoir les Mycorhizes dans le renouvellement et pourquoi pas dans la création de nouvelles palmeraies dans de nombreuses régions du Sahara.

En effet conscients de l'intérêt des Mycorhizes qui permettent entre autre une économie non négligeable dans l'achat de fertilisants(2), les pays développés sont entrain de généraliser leur introduction au niveau de nombreuses espèces agricoles et forestières (3,4,7,10,11,16,23 et 24). Cependant une grande majorité des pays en développement portent peu ou pas du tout d'intérêt à ce domaine. Pourtant les Mycorhizes à vésicules et arbuscules ainsi que les ectomycorhizes doivent devenir une préoccupation, surtout dans les programmes de réhabilitation des sols dégradés et dans le cadre global de la lutte contre la désertification et de reforestation (5,6,14et25).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bloss H.E. 1985.- Studies of symbiotic microflora and their role in the ecology of Desert plants - Desert plants Volume 7, number 3 :119-127 (Published by the University of Arizona for the Boyce Thompson south western Arboretum).
- Menge J.A. 1981- Utilization of vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture- Can. J. Bot. 59.
- Scheromm P. 1994- Les mycorhizes, alliées des arbres forestiers-Biofuturr, fevrier: 33-37
- Gianinazzi-Pearson V. 1986- Les mycorhizes: moyen d'améliorer l'utilisation des engrais phosphatés- IFA 40eme année N° 92 : 1-11.
- Gianinazzi S. ,1982 - Relation entre les plantes et les microbes du sol: Mycorhizes- Techniques agricole N°2610
- Bethlenfalvay G.J,Dakessian S. and Pacovsky R.S. 1983 - Mycorrhizae in Southern California desert: Ecological implications - Can. J. Bot. 62 : 519-524.
- Menge J.A., Lembright H. And Johnson E.L.V. 1977 - Utilization of Mycorrhizal fungi in citrus nurserie - Proc. Int. Soc. Citriculture, 1 : 129-132.
- Clough K.S. and Sutton J.C. 1978 - Direct Observation of fungal aggregates in Sand dune Soil - Can. J. Micro. 24 : 333-335.
- Gerdeman J.W. 1968. -Vesicular arbuscular mycorrhizae and plant growth - Ann. Rev. Phytopath. 6 : 397-418.
- La Rue J.H., MC Clellam W.D. and Peacock W.L. 1975. -Mycorrhizal fungi and peach nursery nutrition- Calf. Agric. 29:7-9.
- Menge J.A., Labananskas C.K., JOHNSON E.L.V. and Platt R.G. 1978a - Partial substitution of mycorrhizal fungi for phosphorus fertilization in the green house culture of citrus- Soil. Scien. Amer. J. 42 : 926-930.
- Mosse B. 1959 - Observation on the extramatriciel mycelium of endophyte- Tans. Brit. Mycol. Soc. 42 : 439-448.
- Mosse B. 1981 - VAM Research for tropical agriculture - Research bulletin 194, University of Hawaï 82p.
- Reeves F.B., Wagner D., Moorman T. And Kiel J. 1979 - the rôle of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid west : 1a comparaison of incidence of mycorrhizae in severely disturbed US natural environnements - Am. J. Bot , 66 : 6-13.
- Sutton J.C. and sheppard B.R. 1976- Aggregation of sand dune soil by endomycorrhizal fungi- Can. J. Bot. 54.326-333.
- Gianinazzi S., Trouvelot A. Et Gianinazzi - Pearson V. 1983 - Les endomycorhizes : importance dans la croissance et le developpement des arbres fruitiers - fruit, 38 (9) : 659-662.
- Nemec S. 1982 - Aspects of vesicular arbuscular mycorrhizae in plant disease research - Phytopath,72(8) : 1102.
- Dehne H.W.,1982 - Interaction between vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens - Phytopath, 72(8) :1115
- Graham J.H. 1988 - Interactions of mycorrhizal fungi with soil borne plant pathogens and other organism : an introduction - Phytopath. 78(3) : 365-366.
- Dairs R.M., Menge J.A. and Erwin D.C., 1978 - Influence of *Glomus fasciculatum* and soil phosphorus on *Verticillium* wilt of cotton - Phytopath. 69(5) : 455-456.

- Cooper K.M. and Grandison G.S. 1986 - Interaction of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and root knot nematodes on cultivars of tomato and white clover susceptible to *Meloidogyne hapla* - Ann. Appl. Biol. 108(3) : 555-565.
- Bartshi H., Gianinazzi-Pearson V. And Vegh I. ,1981 - Vesicular arbuscular mycorrhiza formation and root rot disease (*Phytophthora cinnamoni*) developpment in *Chamaecyparis lasouniana* - Phytopath. Z. 102(3/4) :213-218.
- Gianinazzi S. , Trouvelot A. Et Gianinazzi-Pearson V. , 1988 - Valorisation par les endomycorhizes en agriculture : Une réflexion nécessaire pour l'arboriculture fruitière et d'ornement - Huitième colloque sur les recherches fruitières, Bordeaux, INRA : 120-126.
- Strullu D.G., 1991 - Les mycorhizes des arbres et plantes cultiv_és - eds technique et documentation Lavoisier:9-91.
- Trappe J.M. 1981 - Mycorrhizae and productivity of arid and semi-arid rangelands - in : Advances in food producing systems for arid and semi-arid lands: 581-599 .
- Poss J.A., Pond E., Menge J.A. and Jarrell W.M., 1985 - Effect of salinity on mycorrhizal onion and tomato in soil with and without additionnal phosphate - Plant and soil 88 : 307-319 .
- Allen E.B., Cunningham G.L. , 1983 - Effects of vesicular arbuscular mycorrhizae on *Distichlis spicata* under three salinity levels - New phytol. 93 : 227-236.
- Hirrell M.C. and Gerdeman J.W., 1980 - Improved growth of onion and bell pepper in saline soils by two vesicular arbuscular mycorrhizal fungi - Soil Sci. Soc. Am. J. ,44 :1413-1425 .
- Ojala J.C., Jarrell W.M., Menge J.A. and Johnson E.L.V. , 1983 - Influence of mycorrhizal fungi on mineral nutrition and yield of onion in saline soil - Agron. J. , 75 : 255-259.
- Gerdeman J.W. and Nicolson T.H. 1963 - Spores of mycorrhizal Endogone extracted from soil by wet sieving and decanting - Trans.Br. Mycol. Soc. 46 : 235-244.
- Kormanick P.P., Bryan W.C. and Schultz R.C., 1980 - Procedures and equipment for staining large numbers of plant roots for endomycorrhizal assay - Can.J.Micro. 26 :536-538.
- Phillips J.M. and Hayman D.S. , 1970 - Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection - Trans. Br. Mycol. Soc. 55 : 158-161 .

CONTRIBUTION A LA MISE AU POINT DE LA TECHNIQUE DE CULTURE DE LA TOMATE EN HORS SOL SOUS SERRES CHAUFFEES PAR LES EAUX GEOTHERMALES

M. Haddad - Institut des Régions Arides,

A. Mougou - Institut National Agronomique de Tunis

RESUME

Au cours des dix dernières années, le secteur des cultures légumières sous serres chauffées par les eaux géothermales a connu un développement rapide dans les gouvernorats de Gabès, Kébili et Tozeur. L'évolution de ce secteur dans ces trois gouvernorats entre dans le cadre d'une politique nationale visant essentiellement :

- la production de produits agricoles exportables pendant des périodes critiques de l'année pouvant générer une plus-value en devise,

- contribuer à résoudre le problème de l'emploi qui constitue une des principales préoccupations dans ces régions.

La culture de tomate vient en tête des spéculations cultivées sous serres chauffées par les eaux géothermales. Cette culture qui est en principe facile à conduire et qui permet l'obtention de rendements élevés, pose certains problèmes particuliers sous climat aride.

A cet effet, des essais visant le comportement de plusieurs hybrides de tomate en vue d'étudier leurs besoins en températures nocturnes, leurs performances sur le plan qualitatif et quantitatif ont été menés depuis 1993 à la Station Régionale de l'Institut des Régions Arides de Kébili. Egalement la mise au point d'une technique de culture en hors sol adaptée à cette espèce a été abordée.

Cette communication vise la présentation et la discussion des principaux résultats obtenus.

SUMMARY

Salinity of geothermal water varies from 3 to 4 mS/cm. The use of this water to irrigate vegetable crops in greenhouses has decreased the yield. The objective of the present work is to master soilless tomato growing. Two experiments were carried out :

- 1- A comparison of a method developed in the south of Tunisia using sand as a substrate with two other substrates : an ocean grass (*Posidonia oceanica*) and a grodan rockwool.

- 2- A study of the effect of the capacity of sand used as a substrate.

The results indicate that :

- * soilless tomato growing using local sand did not show any negative effects on fruit growth and production.

- *soilless tomato growing in sand instead of the traditional methods resulted in a higher early yield.

- *both soilless tomato growing using *Posidonia* or rockwool resulted in a significantly lower yield than cultivating tomatoes on local sand.

- *there were significant differences in early yield between 0,28 and 0,24 cubic capacity. The yields were 3,699 and 2,886 kg m⁻² respectively.

INTRODUCTION

Dans le sud tunisien, la disponibilité d'une source de chauffage gratuite à savoir les eaux géothermales a permis au secteur des cultures sous serres de se développer à un rythme très rapide par rapport aux serres froides.

Ce secteur a engendré une production d'une bonne qualité et facilement exportable.

Les eaux géothermales sont utilisées pour le chauffage des serres et exploitées après refroidissement pour l'irrigation. Ces eaux sont chargées en sels et possèdent une conductivité élevée 3 à 4 mS/cm² et une balance minérale disproportionnée notamment en Ca, Na, SO₄ et Cl

La salinité de ces eaux a entraîné une baisse irréversible de la production.

Pour pallier à ce problème, un certain nombre de techniques sont en cours de mise au point. Parmi elles la technique de culture hors sol, cette dernière en concurrence avec la culture traditionnelle doit allier performance agronomique, niveau qualitatif et compétitivité économique. En effet elle constitue un changement d'échelle qui

n'est pas sans présenter des risques (Jeannequin et al., 1987). Il faut donc essayer de la maîtriser avant de la diffuser.

Ainsi les recherches à engager devraient répondre à plusieurs questions pour mettre au point un système techniquement et économiquement performant.

Pour entamer cette action nous avons testé dans un premier essai le comportement de la tomate (l'hybride Taiga) sur les substrats disponibles dans le sud du pays (le sable de carrière et une graminée marine) en comparaison avec la conduite sur des pains en polyeritane. Ensuite on s'est penché sur l'étude de l'influence du volume du sable sur le comportement des deux principales variétés de tomate (Taiga et Hamra) actuellement cultivées dans cette région.

Matériel et méthodes

Les essais sont conduits à l'Institut des Régions Arides Kebili dans des serres monotunnels de 30 m de longueur et de 8,5 m de largeur. Ces serres sont situées cote à cote et orientées Nord Sud. Elles sont couvertes avec un plastique thermique. Le chauffage nocturne est assuré par une eau géothermale de 65°C circulant dans des tubes en polypropylènes annelés.

Deux essais ont été conduits : le premier a été mis en place le 25 octobre 1994 et a consisté à tester le comportement d'une variété de tomate Taiga sur trois substrats : le sable de carrière, la posidonie (graminée marine) qui sont deux substrats locaux et des pains en polyeritane importée de la Hollande.

Le deuxième essai mis en place le 13 septembre 1995, s'est intéressé au comportement de deux hybrides de tomate, Taiga et Hamra sur deux volumes de sable;

Le hors sol préconisé dans ces essais est un système ouvert à drainage perdu. Les composantes de ce système sont les suivantes:

a/ Conteneur

Les observations se sont déroulées dans des tranchées tapissées par un plastique et préalablement drainées par des tuyaux perforés. Ces tranchées sont de 24m de longueur, 0,5m de largeur et de 0,4m de profondeur ce qui correspond à 0,2 m³ de sable par mètre linéaire

Dans le deuxième essai la largeur a été portée à 0,6 puis à 0,7 m soient 0,24 m³ et 0,28 m³

b/ Substrats

Les substrats disponibles dans le Sud tunisien sont le sable de carrière et la posidonie.

Le sable est apporté de la région de Tozeur et a la composition suivante:

>2mm	2mm- 1mm	1mm- 500µm	500µm- 250µm	250µm- 100 µm	100µm- 50µm	< 50 µm	calcaire total
1,92%	3,99%	20,7%	53,55%	18,86%	0,77%	0,23%	0,5%

Par contre l'algue marine est prise sur la côte de la région de Gabes. Elle a été compostée et désalinisée au préalable. Le polyeritane est importé de Hollande.

c/ Réseau de distribution de la solution nutritive

Les besoins en eau de la plante ont été calculés selon la formule suivante: (0,61Rgs/59,1 - 0,8) et ont été fractionnés en 3 à 4 irrigations par jour avec une majoration de 30% sans fertilisant en fin de chaque journée pour faciliter le drainage.

Le système d'irrigation est composé par des gaines souples perforées tout les 20 cm et reliées à un système de dosage hydraulique déclenché manuellement par un système de vannes.

La composition de l'eau d'irrigation en me/l est la suivante:

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
13,5	6,99	15	0,8	13,96	18,3	1,88

A cette eau nous avons ajouté 8me/l de K, 1,88 me/l d'acide phosphorique concentré et 15,3 me/l d'azote. Les oligo-éléments (Cu, Zn, Mo, B et Mn) sont incorporés dans la solution nutritive sous forme d'une poudre mélangée à raison de 2,5 g/m³. Le Fe est additionné sous forme de EDDHA.Fe.

Les essais sont menés suivant un dispositif en bloc à 3 répétitions

Dans le présent travail nous présentons les résultats relatifs à:

Pour le premier essai , l'évolution de quelques paramètres de croissance et de fructification, le rendement précoce et les pourcentages des fruits commercialisables et pour le deuxième essai ,l'influence du volume du substrat sur le rendement précoce et l'influence du volume jugé le plus important sur la production précoce par variété, sur les calibres des fruits et sur quelques critères de qualité

Discussion des résultats:

Le premier essai a prouvé que la culture hors sol sur du sable permet l'obtention de plants de tomate d'une bonne vigueur avec une croissance très rapide et un rendement précoce de 5,686Kg/m². Fig.1. Ce rendement est significativement plus élevé que le rendement enregistré par la technique traditionnelle sur sol. Les rendements réalisés avec les autres substrats sont plus bas et la différence avec la culture sur du sable est très hautement significative.

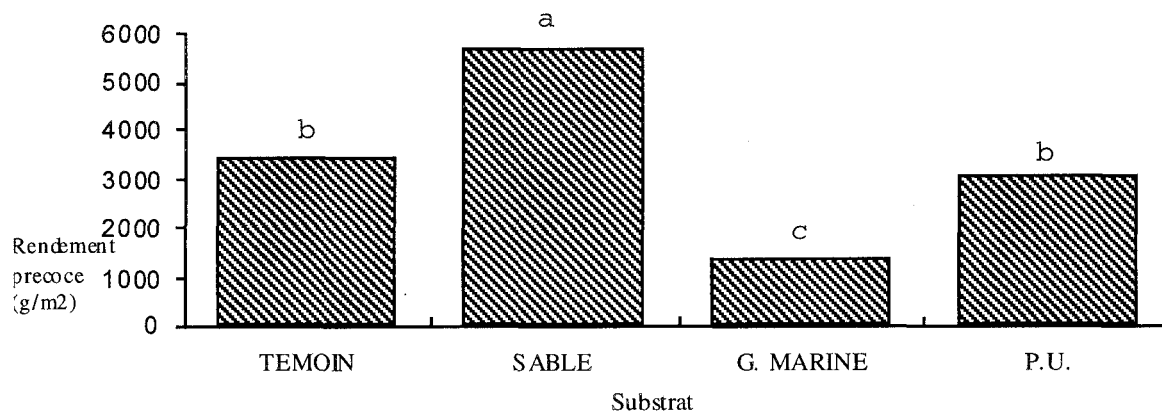


Fig 1: Effet de la nature du substrat sur le rendement précoce

Il est de même pour le pourcentage de fruits commercialisables .Fig. 2

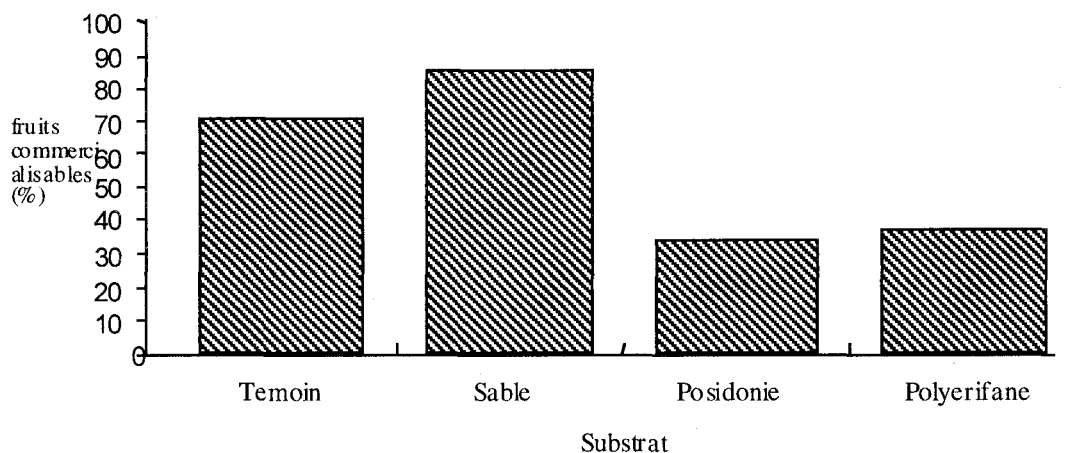


Fig 2: Effet de la nature du substrat sur le pourcentage des fruits commercialisables

La culture sur la graminée marine en raison de la salinité a entraîné des plants vigoureux mais très nains. Le hors sol sur les pains en polyeritane semble inadapté à la technique d'irrigation par les gaines souples.

Les résultats sur les deux volumes de sable ont enregistré une production précoce plus élevée avec le volume 0,28 m³ de sable par mètre linéaire (volume1), la différence est hautement significative; Fig.3 .

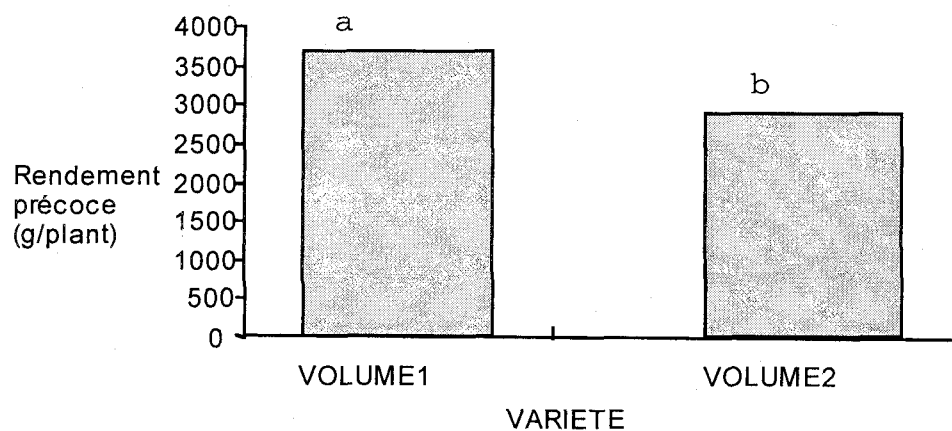


Fig 3: Effet du volume du substrat sur le rendement précoce

Les résultats réalisés sur ce volume n'avaient pas montré d'effet significatif sur le rendement précoce des deux variétés, toutefois la variété Taiga a donné un rendement légèrement plus élevé que la variété Hamra. Fig. 4.

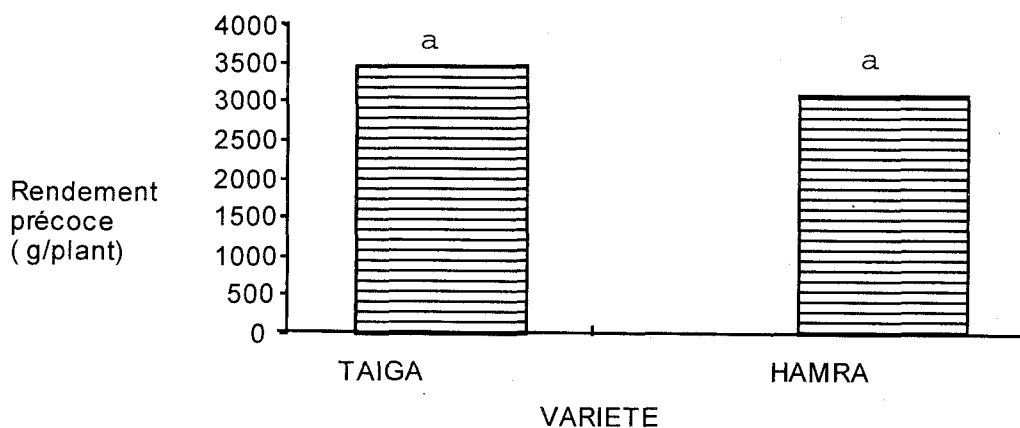


Fig 4: Effet du premier volume sur le rendement précoce

En outre sur ce traitement, la distribution de la production en calibre est très hautement significative a cet effet plus que 75 % de la production (calibre 57,67 et 77) est à écoulement facile sur les marchés d'exportation .Fig.5.

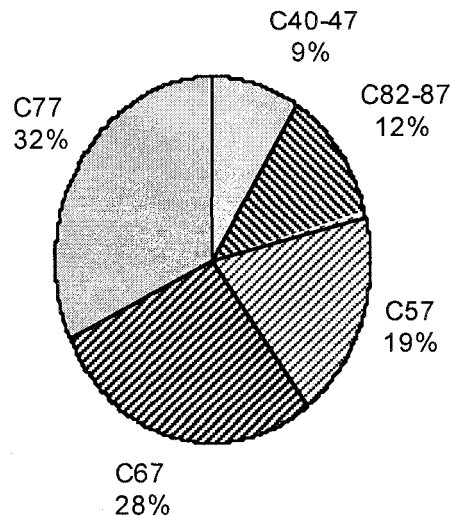


Fig 5: Effet du premier volume sur le calibrage de la production

La qualité des fruits après 7 jours de conservation semble satisfaisante. Les valeurs de pénétrations évaluées par un pénétromètre type Herzog d'un plongeur de 187g et actionné durant 5 secondes sont inférieures à 35 mm. Le pH de ces fruits est très acide et la chaire est riche en matière sèche .

Conclusion:

La technique de culture en hors sol pourrait améliorer les rendements et résoudre les problèmes de la salinité et éventuellement les maladies telluriques. Cependant plusieurs questions restent encore posées .

- Une meilleure caractérisation des substrats locaux.
- La définition des exigences des principales espèces pour lesquelles la technique de culture hors sol présente un intérêt certain;
- La faisabilité technique et économique de ce système auprès des agriculteurs.
- Tester du point de vue pathologique la fiabilité de cette technique et en assurer la maîtrise
- Comparer enfin la qualité des fruits issus de ce système avec la technique traditionnelle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jeanneqjun, B., R. Brun, C. Guimbard et J. Corréé(1987). Les systèmes de culture hors sol en maraîchage. dans: Les cultures hors sol. Blanc, D. (éd). INRA, Paris pp 251-280
- Verlodt. H (1991). Document technique projet PNUD irrigation sous serres chauffées par les eaux géothermales.

BILANS DES ETUDES ET DES TRAVAUX DE RECHERCHE EN MATIERE DE DEFENSE DES CULTURES DANS LES OASIS ET LES SERRES CHAUFFEES.

BEL KADHI Mohamed Sadok
Institut des Régions Arides
Centre Régional - Kebili

RESUME

Les cultures sous-serres chauffées par les eaux géothermales, se trouvent régulièrement attaquées par un ensemble de phytoparasites constitué par, les nématodes, la mouche blanche (*Benisia tabaci*), la mouche mineuse (*Liriomyza ssp*), les tripes et les pucerons.

Les nématodes du genre *Meloidogyne*, étant le problème le plus important, surtout que les méthodes de lutte classiques, qu'elles soient chimiques ou culturales, n'empêchent pas les populations d'atteindre des niveaux spectaculaires.

L'énergie géothermale combinée à la solarisation du sol, essayée en tant que moyen de lutte physique contre les nématodes, a donné de très bon résultats. En effet, on enregistre une forte diminution des populations des nématodes au niveau des racines du sol, une augmentation de vigueur des plantes, et par conséquent une augmentation des rendements et de la qualité de production.

Le suivi et l'étude de la dynamique des populations de la mouche blanche, la mouche mineuse, les tripes et les pucerons, durant quatre (4) campagnes successives, ont permis de mettre au point des calendriers de traitement chimique, basés sur les principales formules chimiques qui ont donné des résultats satisfaisants au cours des essais entrepris dans les conditions des serres-chauffées.

L'"insect proff" essayé dans les conditions des agriculteurs contre ces insectes, a donné des très bons résultats, l'amélioration de sa technique d'utilisation augmentera davantage son efficacité.

Au cours de ces dernières années, on a pu détecter et identifier des populations très importantes d'antagonistes naturels de l'ensemble des parasites étudiés, ce qui ouvre de nouvelles perspectives pour la mise au point d'une méthode de lutte biologique.

SUMMARY

Cultures under greenhouses heated by geothermal water, are regularly found attacked by several phytoparasites such as the nematodes, the white fly (*Benisia tabaci*), the minor fly (*Liriomyza ssp*), trips and fleas.

The nematodes of the gender *Meloidogyne*, being the most important problem, especially that classic struggle methods, either chemical or cultural, do not prevent populations to reach spectacular levels.

The geothermal energy combined with the solarisation, tried as physical mean against nematodes, has given very good results. Indeed, a high decrease of nematode populations to the ground roots level, an increase of vigour, and consequently an increase of out puts and the quality of production, are recorded.

The survey and the study of the dynamics of the white fly populations and those of the minor fly, trips and fleas, during four (4) successive companions, have allowed to develop chemical processing calendars, based on the main chemical formulate that have given satisfying results during the trials undertaken in heated greenhouses conditions.

The "insect proff" tried in farmers conditions against these insects, has given the best results, the improvement of its technique of utilisation will increase more its efficiency.

During these last years, very important populations of natural antagonists from the totality of studied parasites have been detected and identified, opening, consequently, new perspectives for the development of a biological struggle method.

L'écosystème oasien

L'Agriculture oasienne repose sur trois cultures associées en étages. Le palmier dattier constitue à lui seul l'étage supérieur et crée un microclimat favorable pour l'arboriculture fruitière constituant l'étage moyen et les

cultures maraîchères et fourragères qui constituent l'étage herbacé. Toutes ces cultures sont sujettes à des problèmes phytosanitaires dont l'importance varie d'une espèce végétale à l'autre (tableau I)

1. L'*Apate monachus*

L'*Apate monachus* est un coléoptère *Bostrychide*, dont l'adulte de couleur noire et de 12 à 15 millimètres de longueur. Vu de dessus le thorax est sub-carré avec des angles arrondis. Les elytres sont finement côtelées et ponctuées et se terminent par un biseau légèrement oblique. La tête en gardant la même largeur que le thorax, se trouve enchâssée dans ce dernier de telle sorte que l'avant du thorax et le front se trouvent sur un même plan vertical.

Les larves sont blanches et peuvent atteindre 20 millimètres de longueur. Les métamères antérieures du thorax sont développées et les mandibules supérieures sont noires (BELKADHI et GERINI 1988).

En tant que ravageur de diverses plantes ligneuses, l'*Apate monachus* est connu partout en Afrique tropicale et dans d'autres régions du monde. Au Maroc, il a été signalé par Balashowsky (1932) sur le bois de différentes espèces végétales, entre autres *Acacia* sp et *Sophora japonica*. Sur le palmier dattier la présence de cet insecte fut signalée en Libye par Martin en 1959, en Tunisie par Pagliano en 1951 et en Algérie par Toutain en 1967.

L'attaque par L'*Apate monachus* sur le palmier est matérialisée par la présence d'un certain nombre de feuilles cassées situées généralement au niveau de la couronne moyenne, d'une part, et par l'existence le long de rachis, des trous, souvent bouchés d'une substance visqueuse de couleur noire d'autre part.

Une coupe longitudinale au niveau d'un rachis attaqué, montre des galeries uniformes débutant chacune par un trou circulaire. La longueur d'une galerie varie généralement entre 7 et 12 cm, mais peut atteindre dans certains cas, 20 cm, ces galeries sont généralement creusées de bas vers le haut du rachis, si on prend le trou comme un point de départ. plusieurs galeries peuvent se succéder le long du même rachis et pourraient être aménagées par un même individu.

L'attaque de l'*Apate monachus* sur palmier dattier se manifeste au niveau des rachis des feuilles de la couronne moyenne, où l'insecte creuse de galeries. Les feuilles perdent ainsi leur résistance, deviennent fragiles à moindre agitation du vent et casse facilement.

Une forte attaque peut entraver la vie normale de la plante, par diminution de l'activité photosynthétique au niveau des feuilles attaquées, provoquant ainsi un déséquilibre physiologique qui aboutit à un affaiblissement général de la plante.

L'adulte apparaît au début du printemps à partir des palmes sèches pour s'attaquer aux palmier les plus proches. L'insecte creuse des galeries de nutrition et de reproduction dans les rachis des palmes vertes au niveau de la couronne moyenne.

Au fur et à mesure que l'insecte avance en creusant sa galerie, le palmier réagit par la sécrétion d'une substance visqueuse. A ce moment l'insecte recule en marche arrière pour sortir avant d'être agglutiné par cette substance.

La longueur de la galerie qui est en moyenne de 15 cm, diminue au niveau des jeunes feuilles qui ont une activité physiologique plus importante et réagissent plus rapidement à l'attaque de l'insecte.

Ainsi l'adulte passe le printemps et l'été en creusant des galeries sur les palmiers les plus proches, pour mettre au début de l'automne ses oeufs sur les palmes sèches au voisinage des pieds attaqués. L'oeuf va éclore pour donner une larve qui pénètre immédiatement dans les rachis des palmes séchées où elle va creuser une galerie dont le diamètre augmente avec l'âge de la larve. A la fin de l'hiver la larve âgée s'approche de la périphérie du rachis pour préparer le trou de sortie de l'adulte.

Généralement l'*Apate monachus* présente une seule génération par an. Contrairement à la galerie maternelle qui se trouve vide et de couleur noire, la galerie larvaire sur le bois mort se trouve remplie par la sciure du bois.

En se basant sur la biologie de l'insecte le moyen de lutte commence par le ramassage et l'incinération de toutes les palmes sèches jetées dans la parcelle. Ainsi les larves sont éliminées totalement. Seulement les feuilles utilisées soit au niveau des haies ou pour la protection des palmiers, et qui peuvent héberger les larves de l'*Apate monachus* doivent subir deux traitements successifs à la fin de l'hiver et au début du printemps.

2. Les nématodes.

L'écosystème oasien avec ses particularités techniques et climatiques crée des conditions très favorables à la dissémination et la pullulation des nématodes, dont les dégâts passent généralement inaperçu. En effet les attaques des nématodes sont généralement au niveau du système racinaire et se manifestent au niveau de la partie végétative par des symptômes faciles à confondre avec celles des maladies cryptogamiques ou des problèmes

physiologiques. Outre les dégâts directs qu'ils soient mécaniques ou chimiques, certains nématodes contribuent dans la transmission des viroses et des bactéries.

Devant l'importance de ce problème dans les oasis, une étude de la nématofaune à ce niveau a été nécessaire.

2.1- Matériel et méthode:

Cette étude a touché 29 oasis réparties dans tout le Nefzaoua, touchant ainsi les quatre Délégations du Gouvernorat de Kebili.

a) Techniques de l'échantillonnage.

Dans une parcelle choisie au hasard à l'intérieur de l'oasis, les échantillons sont prélevés à l'aide d'une tarière, au niveau de la rhizosphère des principales cultures rencontrées. Le profondeur de l'échantillon dépend étroitement de la culture en place. En effet pour les palmiers et les arbres fruitiers, les premiers 25 cm sont à écarter.

Chaque échantillon est constitué de deux prélèvements au niveau d'une même plante, et mis dans un sachet plastique portant les indications nécessaires.

b) Méthode d'extraction

Par défaut de matériel pour une méthode plus rapide et plus fiable, telle que la méthode centrifugale, nous avons adopté une technique basée sur la mobilité des nématodes, qui est celle d'Oostenbrink, suivie du papier filtre.

Après mélange et homogénéisation de l'échantillon global, un sous-échantillon de 250 grammes est mis dans un tamis de grandes mailles, placé sur un entonnoir qui surmonte l'appareil. Cette quantité de sol est soumise au passage d'un faible courant d'eau qui permet de véhiculer les nématodes dans le fond de l'appareil.

Le mélange d'eau, de matière organique, de grains de sable et de nématodes obtenu, est soumis à un courant d'eau basal et fort, permettant ainsi une meilleure homogénéisation du mélange. La grande partie de ce dernier est récupérée dans un seau, à un niveau de l'appareil tel que le sédiment de grains de sable reste dans le fond de l'appareil. Cette solution sera concentrée par passage sur une série de deux tamis (74 μ et 44 μ).

La suspension récupérée après rinçage des tamis sera transvasée dans un tamis de grandes mailles, couvert d'un papier filtre et l'ensemble est placé dans une assiette: 24 à 48 heures après, la solution obtenue dans le fond de l'assiette sera réduite par élimination de la partie surnageante après sédimentation des nématodes.

L'extraction des nématodes étant terminée, on procède alors à l'analyse microscopique.

Les spécimens des différents genres de nématodes rencontrés dans l'échantillon, sont transférés dans un verre de montre contenant quelques gouttes de fixateur, préparé préalablement au laboratoire comme suit:

- 10 ml Formaline
- 01 ml Glycérine
- 89 ml Eau distillée

Sur une lame en anneau de paraffine contenant une goutte de ce même fixateur, quelques individus de chaque genre sont montés entre lame et lamelle.

Les nématodes sont ainsi fixés, on passe alors à la détermination des différents genres.

2.2- Résultats et discussions:

1. Les principaux Nématodes rencontrés:

Les nématodes rencontrés dans les échantillons de sol, pris au niveau de la rhizosphère des principales cultures, sont nombreux, mais nous allons nous intéresser aux nématodes phytoparasites uniquement. Notons aussi que les exemplaires trouvés en divers endroits et localités, appartiennent à plusieurs espèces.

a- *Ordre Tylenchida*

- *F: Meloidogynidae*

Dans cette famille, on rencontre essentiellement le genre *Meloidogyne* représenté par trois espèces *M. Javinica*, *M. arenaria* et *M. incognita*.

Ce genre est de loin le plus répandu dans les oasis, constituant ainsi un fléau, surtout pour les cultures maraîchères. Nous l'avons rencontré, en effet, sur tomate, piment, aubergine, Gambo, carotte, pastèque et luzerne. Il a été signalé dans les oasis de Nefzaoua sur la majorité des espèces d'arboriculture fruitière (BEL KADHI, 1986).

Dans les oasis de Tozeur le genre *Meloidogyne* a été observé sur palmier dattier, vigne, olivier et certaines cultures maraîchères (B'. Chir 1982).

- *F: Pratylenchidae*

Cette famille est représentée dans les oasis par deux genres endoparasites; à savoir: *Pratylenchus* et *Zigotylenchus*.

Le genre *Zigotylenchus* s'approche des *pratylenchus*, seulement sa taille est plus importante, ayant une longueur de 405 μ environ (YOUGA, N., 1985). Ce même auteur a signalé la présence de ce genre sur les céréales dans le Nord Ouest de la Tunisie. Nous l'avons retrouvé associé à l'orge dans les oasis de Douz.

Les *pratylenchus* ont été rencontrés dans le plupart des oasis de Nefzaoua associés essentiellement aux dattiers, figuier, pêcher, carottes, henné, orge, grenadier, olivier, vigne, luzerne et piment.

Dans les oasis de Tozeur et en 1982, B'CHIR a signalé la présence de *pratylenchus* pénétrants sur palmier et vigne.

-F: *Anguinidae*

Ditylenchus dipsaci est le seul représentant de cette famille dans les oasis. Il a été observé sur les fèves et l'olivier.

- F: *Tylenchulidae*

Tylenchulus semipenetrans, connu comme nématode spécifique des Agrumes a été retrouvé au niveau de certaines oasis, associé à l'olivier et la vigne. Mais cette population pourrait être différente de celle qui s'attaque aux Agrumes.

Ce nématode a été aussi rencontré sur les Agrumes dans les oasis (BEL KADHI 1986).

- F *Paratylenchidae*

Dans les oasis, cette famille est représentée par le genre *Paratylenchus*. Il est observé essentiellement sur dattier, grenadier, olivier, vigne et luzerne.

- F: *Tylenchorynchidae*

Tylenchorynchus sp est le nématode le plus fréquent dans les oasis. Il infeste la presque totalité des sols, avec un taux apparemment le plus élevé de tous les nématodes ectoparasites.

- F: *Hoplolaimidae*

Au même titre que le *Tylenchorynchus*, le genre *Scutellonema* est très fréquent dans les sols des oasis de Nefzaoua. Nous avons constaté aussi qu'après extraction le *Tylenchorynchus* et les *Scutellonema* peuvent vivre plus de 3 mois dans l'eau.

Le genre *Helichotylenchus* n'a été observé que rarement, associé au dattier, olivier et fève.

- F: *Tylenchidae*

Le genre *Tylenchus* est toujours présent dans la presque totalité des échantillons analysés, il a par conséquent une gamme d'hôtes très variée.

-F: *Belonolaimidae*

Telotylenchus est l'unique genre de cette famille rencontré dans les oasis. Il est associé au figuier, olivier, vigne et pêcher, dans très peu d'oasis.

-F: *Criconematidae*

Le genre *Criconema* est très peu fréquent dans les oasis. Sa gamme d'hôte est limitée au dattier, figuier et vigne.

b) - Ordre des *Dorylaimida*

Dans les oasis de Nefzaoua cet ordre est représenté par deux familles qui renferment les nématodes vecteur des virus.

-F: *Longidoridae*

Dans cette famille on trouve les *Longidorus* associés essentiellement au dattier, grenadier, olivier, pommier, vigne, agrumes, luzerne et orge.

Le genre *Xiphinema* est aussi très fréquent dans les oasis. Nous l'avons rencontré sur dattier, figuier, grenadier, olivier, vigne, agrumes, luzerne, orge et piment.

Parmi les quelques espèces de ce genre, nous avons pu identifier l'espèce *loosi*, mentionnée pour la première fois en Tunisie.

-F: *Trichodoridae*

Le *Trichodorus* est assez fréquent dans les oasis. Il est rencontré essentiellement sur le dattier, figuier, grenadier, olivier, vigne, luzerne et orge.

Parmi les nématodes ectoparasites rencontrés, ces trois dernières genres constituent un danger particulier, surtout qu'ils sont des vecteurs potentiels des virus et sont très fréquents dans les oasis de Nefzaoua.

2- Fréquence des principaux genres de Nématodes en fonction des cultures:

Parmi les 23 genres de nématodes phytoparasites rencontrés dans les échantillons de sol au niveau des oasis de Nefzaoua, 6 uniquement sont pris en considération, vu leurs importances et leurs fréquences sur les principales cultures.

Cette étude est basée sur l'analyse d'échantillons de sol uniquement. C'est pourquoi les *Meloidogyne* sont rarement rencontrés. Mais, il est à remarquer que, partout dans les oasis, chaque fois qu'on arrache un plant ou des morceaux de racine d'une plante les symptômes caractéristiques des *Meloidogyne* sont présents.

La comparaison entre les fréquences des nématodes avec les cultures prospectées dans les oasis (fig 1) montre que dans le cas de *Longidorus*, le grenadier, l'orge et l'olivier sont les plus fréquemment infestés, alors que le palmier dattier qui constitue à lui seul l'étage supérieure de l'oasis, et la luzerne qui occupe une place prépondérante dans l'étage herbacé, sont rarement infestés par ce nématode. Le figuier est dans ce cas, la seule culture indemne.

Pratylenchus, *Scutellonema* et *Tylenchorynchus* sont les plus fréquemment associés aux principales cultures dans les oasis, avec un degré de fréquence légèrement variable d'une culture à l'autre.

Trichodorus et *Xiphinema*, bien que leurs fréquences soient toujours faibles, sont associés à toutes les cultures prospectées dans les oasis.

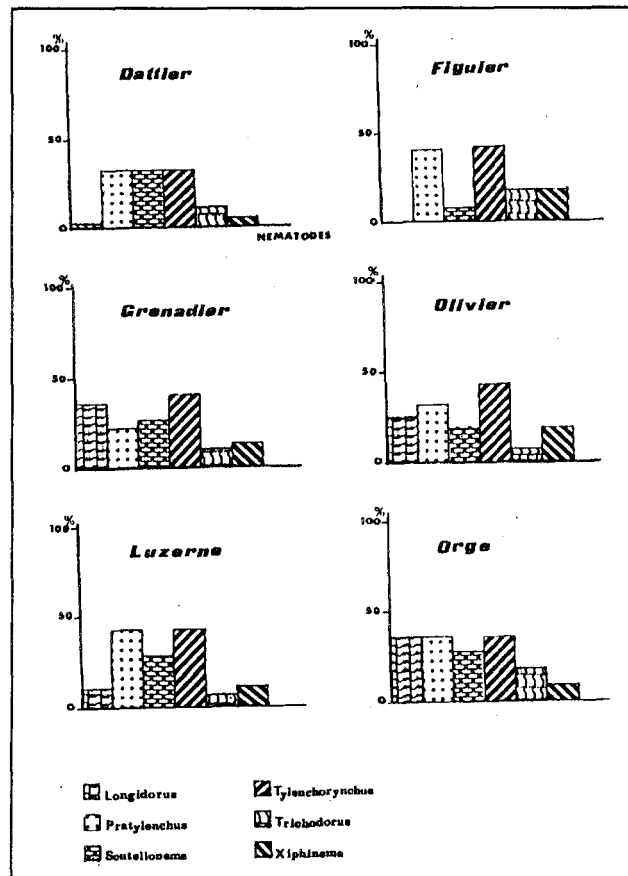


Fig. 1 - Fréquence des principaux genres de nématodes en fonction des principales cultures dans les oasis de Nefzaoua.

3 - Fréquence des principaux genres de Nématodes en fonction des régions:

La fréquence des nématodes rencontrés dans une oasis est liée essentiellement à l'importance des cultures-hôtes dans cette oasis. En effet, bien que présent dans les quatre Délégations, le genre *Pratylenchus* est plus fréquent dans les oasis de Souk Lahad (Fig. 2). Ceci pourrait s'expliquer par l'importance des cultures fourragères basées essentiellement sur la luzerne et l'orge (Aloui, L. 1987), qui sont les plus fréquemment infestées par ce nématode. Le figuier, qui se rencontre plus fréquemment dans les oasis de Souk Lahad est aussi un hôte très favorable aux *Pratylenchus*.

Dans cette même zone où le figuier et l'olivier se trouvent en abondance, le genre *Scutellonema* est relativement très peu fréquent, puisque ces dernières cultures sont les moins infestées par ce nématode. En plus l'abondance de ces cultures est aux dépens d'autres cultures hôtes au *Scutellonema*, ce qui pourrait, par conséquent, diminuer la fréquence de ce nématode dans cette région.

Tylenchorynchus est le genre le plus fréquent dans les oasis de Nefzaoua. Il est polyphage et presque de même importance sur toutes les cultures rencontrées dans la région. C'est pourquoi sa fréquence est légèrement

variable d'une délégation à l'autre. Seulement dans la délégation d'El Faouar, qui est relativement la plus nouvelle, sa fréquence est un peu faible.

Pour les nématodes vecteurs de virus, à savoir: *Xiphinema*, *Longidorus* et *Trichodorus*, les fréquences sont très peu variables d'une région à l'autre. Ceci revient au fait que ces nématodes et en particulier *Xiphinema* et *Trichodorus*, sont associés à toutes les principales cultures prospectées dans les oasis de Nefzaoua.

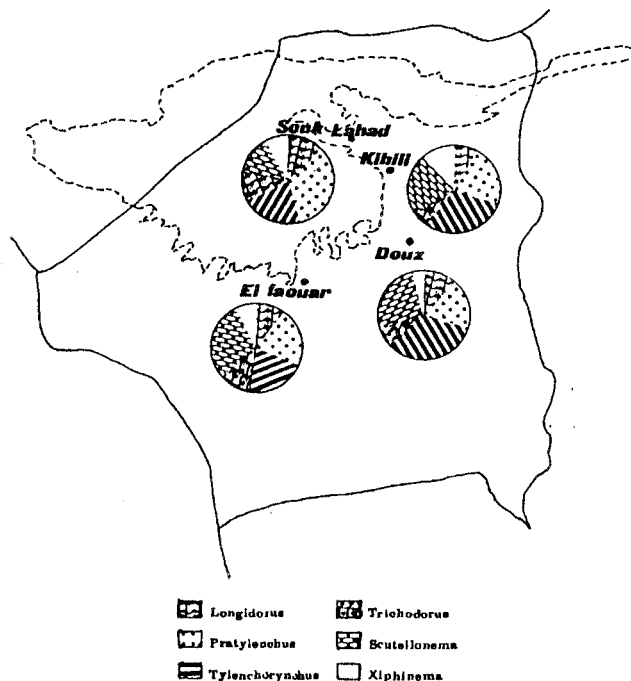


Fig. 2 - Fréquence des principaux genres de nématodes en fonction des régions

Conclusion

D'une façon générale, les quatre zones des oasis dans le Gouvernorat de Kebili sont infestées par les six principaux genres de nématodes rencontrés au cours de cette étude et qui sont: *Pratylenchus*, *Tylenchorynchus*, *Scutellonema*, *Xiphinema*, *Longidorus* et *Trichodorus*.

Aucun de ces nématodes n'a montré une spécificité à une zone ou une culture bien déterminée. En effet, le système de culture en trois étages, qui est presque le même dans les différentes zones, ne permet aucune spécificité d'un nématode. Par contre ce système favorise l'installation de plusieurs genres de nématodes dont l'importance et la fréquence dépendent étroitement des cultures - hôtes en présence.

L'importance des différents genres de nématodes varie amplement au niveau d'une même culture. En effet dans la région de Douz, la différence de fréquence entre celle de *Xiphinema*, qui est la plus faible soit de 3.26%, et celle de *Tylenchorynchus*, qui est la plus élevée soit de 32% (fig. 2), est de 28.4%. Pour ces mêmes genres de nématodes sur dattier, la différence entre la fréquence des *Xiphinema* (5.4%) et celle de *Tylenchorynchus* (32.4%), est de 27% (Fig. 1)

2- La géoserriculture

Entre autres problème phytosanitaires associés aux cultures sous-serre chauffée par les eaux géothermales, les nématodes du genre *Meloidogyne*, les champignons telluriques, la mouche blanche et la mouche mineuse prennent d'une année à l'autre plus d'importance. Les nématodes et les champignons telluriques provoquent dans certains cas des phénomènes écologiques désagréables, comme la fatigue du sol. Les insectes et en particulier la mouche blanche (*Bemisia tabaci*) provoque des dégâts très importants, allant à l'anéantissement de la production de la culture de tomate par la transmission des viroses.

Les conditions particulières aussi bien climatiques que techniques des cultures sous-serre chauffée dans le sud Tunisien, ont limité l'application et l'efficacité des techniques de lutte pratiquées dans d'autres régions serricoles du pays.

Devant cette situation qui peut handicaper le développement du secteur géoserricole, la recherche de méthodes de lutte, pouvant limiter les dégâts de ces fléaux s'impose. C'est à ce niveau que se situe notre travail pour tester et mettre au point de méthodes de lutte physiques et chimiques.

Les nématodes associés aux cultures sous-serre chauffée sont représentés par le genre *Meloidogyne* avec trois espèces, à savoir, *M. arenaria*, *M. javanica* et *M. incognita*.

M. arenaria est l'espèce la plus fréquente. On la trouve seule ou associée avec l'une ou l'autre des deux autres espèces ou avec les deux en même temps en particulier dans les oasis.

M. javanica et *M. incognita* ne se sont jamais rencontrées isolées ou associées à elles seules (voir tableau).

Les espèces de *Meloidogyne* rencontrées dans les serres chauffées et les oasis

Sites	Cultures	Espèces rencontrées
Jemna	Tomate	<i>arenaria</i> , <i>incognita</i>
Kebili	Tomate	<i>arenaria</i>
5 ^{ème} saison	Tomate	<i>arenaria</i> , <i>javanica</i>
Douz	Concombre	<i>arenaria</i> , <i>javanica</i>
Jemna	Concombre	<i>arenaria</i>
Kebili	Cultures maraîchères	<i>arenaria</i> , <i>incognita</i> , <i>javanica</i>

La résistance variétale vis à vis des nématodes a été la technique la plus réussie pour limiter les dégâts des nématodes dans les serres froides pratiquées au Sahel et au nord du pays. Mais par la présence d'une population agressive cette possibilité trouve ses limites d'application dans la serriculture au sud Tunisien. En effet, bien avant le développement des cultures sous-serre chauffée et au cours de la campagne agricole 1985 - 1986, on a rencontré dans les serres froides dans la région de Gabès des variétés de tomate connues résistantes aux nématodes (Elcy) fortement attaquées par les *Meloidogyne*. A ce moment deux hypothèses ont été émises, soit, une impureté des semences soit l'apparition des pathotypes agressifs (Bel Kadhi, 1987).

Si à cette époque, le problème n'a pas suscité beaucoup d'intérêt, par la faible importance de la serriculture froide dans le sud du pays, et la possibilité de limiter les dégâts par des traitements chimiques à ce niveau, il a acquis une importance capitale avec le développement de la géoserriculture. On constate, en effet, que par le manque des mesures prophylactiques et l'absence de méthodes de lutte efficaces adaptées aux conditions des serres chauffées, le nombre de serres infestées par les nématodes augmente d'une façon très remarquable dans les sites géoserricoles.

1 - Etude préliminaire du cycle des *Meloidogyne* dans les serres chauffées.

Un échantillonnage successif et régulier au cours d'un cycle cultural complet des deux principales cultures pratiquées en géothermie, a permis de donner une idée sur la dynamique des populations et la durée du cycle biologique des *Meloidogyne*.

Sur une culture continue de tomate plantée début Novembre pour être arrachée début juin, nous avons rencontré une génération tous les 21 à 23 jours, soit une moyenne de 22 jours par génération avec une population qui varie de 5223 à 9327 de nématodes par cinq grammes de racine.

Toutes les variétés de melon cultivées dans les serres chauffées sont très sensibles aux attaques des *Meloidogyne* qui présentent un développement rapide sur cette culture. En effet sur une culture de melon d'arrière saison, nous avons rencontré, une génération de nématode tous les 18 à 20 jours soit une moyenne de 19 jours par génération avec une population qui varie de 4932 à 8526 de nématodes par cinq grammes de racine.

Les cycle biologique des *Meloidogyne* dans les conditions des serres chauffées est donc d'une moyenne de 22 jours sur la culture de tomate et de 19 jours sur la culture de melon.

2- résistance de culture de tomate vis à vis des *Meloidogynes* dans le sud Tunisien.

Conscient de l'importance de la résistance variétale, en tant que composante principale dans le cadre de la lutte intégrée contre les nématodes, nous avons cherché à expliquer le phénomène d'attaque sur les variétés déjà connues résistantes et tester la résistance sur d'autres variétés même sauvages qui peuvent servir comme porte-greffe en cas de besoin.

Cinq variétés hybrides de tomate connues résistantes aux nématodes ont été testées dans les conditions du terrain et en pots au laboratoire. Dans les deux cas, toutes les variétés ont été attaquées par les *Meloidogyne* originaires des serres chauffées de la région de Kebili (Tableau).

TEST DE RESISTANCE EFFECTUE SUR CINQ VARIETES DE TOMATES

- 1 - PERUYIANUN. P.I 128663
- 2 - PERUYIANUN. P.I 270435 x P.I 126443
- 4 - MONALBO N: 4
- 5 - Fi ANAHU x MONALBO

Nombre de nématodes par 5g racines

	1	2	3	4	5
pots	403	728	362	853	715
terrain	686	555	542	886	180

L'hypothèse d'apparition de pathotypes virulents émise depuis l'année 1987, à été confirmé en 1993 par le professeur LATERROT, spécialiste en génétique des plantes. Mais la virulence des nématodes dans le sud Tunisien, n'a aucune relation avec les conditions de la géothermie. C'est en effet, bien avant le développement de ce secteur qu'on a constaté cette virulence en serre froide.

De plus un test mené en pot au laboratoire sur une variété de tomate résistante au nématode (IBIZA), inoculée par des *Meloidogynes* provenant d'une serre chauffée cultivée plusieurs années à Kebili, d'une serre chauffée cultivée la première année à Gabès (Société CAPRIS) et d'une oasis de la région de Kebili a montré des attaques quelque soit l'origine de l'inoculum. Toutefois on enregistre, une population plus importante dans le cas de l'inoculum provenant d'une serre chauffée cultivée plusieurs années (Tableau).

Test de résistance d'une variété de tomate résistante (IBIZA) vis à vis des *Meloidogynes* d'origines différentes.

Origine	∞	Larves	femelles	mâles	Total/5g de racine
Kebili	5175	425	250	25	5875
Gabès	2716	248	66	33	3030
Oasis	1850	525	175	0	2550

Kebili : Serre chauffée plusieurs années à Kebili

Gabès : Serre chauffée cultivée la première à Gabès (CAPRIS)

Oasis : Oasis de Kebili

3 - Lutte contre les nématodes

Les conditions particulières de la géothermie ont empêché toute application des méthodes classiques pratiquées contre les nématodes en serre froide. La présence d'une population agressive dans le sud Tunisien a éliminé la possibilité d'utilisation de la résistance variétale. Le traitement chimique par les fumigants se trouve limité par une température excessive au niveau du sol, durant la période de traitement (juin, juillet, Août). Les produits chimiques de contact au systémique appliqués sous forme granulée au cours de la végétation sont inefficaces et provoquent parfois des dégâts de phytotoxicité.

3.1- La solarisation à l'eau géothermale

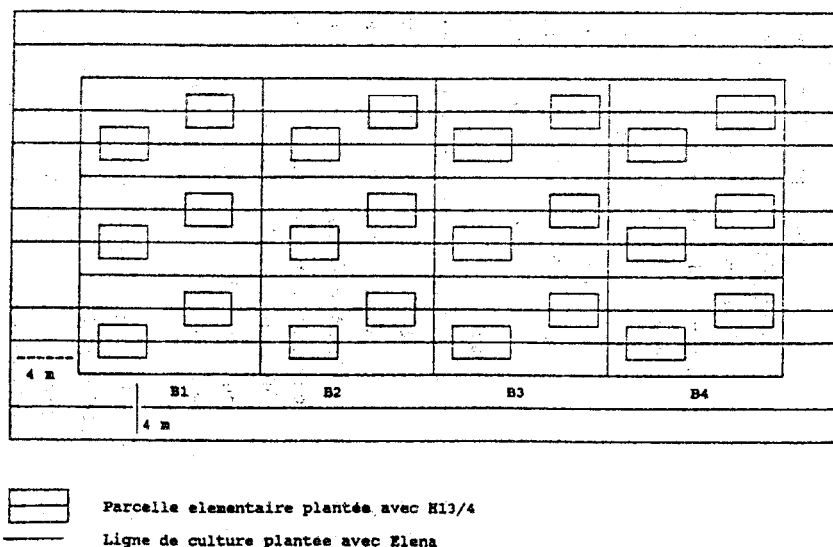
La solarisation avec l'eau chaude appliquée au cours de la saison estivale a permis par contre, de limiter les populations des *Meloidogynes* dans le sol, permettant ainsi dans la plupart des cas, une production normale.

3.1.1 Matériels et méthodes

3.1.1.1- Dispositif expérimental.

L'essai a été installé dans le site géothermal de Stifimi situé à 3 km environ à gauche de la route Kebili-Gabès à partir de la borne kilométrique n° 9. Pour cet essai on a choisi la serre la plus infestée par les *Meloidogyne*. Le dispositif expérimental est du type blocs aléatoires complets (BAC) avec trois traitements, un témoin et deux traitements avec débits différents T1=1.33 l/s et T2=2.03 l/s, en quatre blocs.

Dispositif expérimental



Durant la période estivale, à la fin du cycle cultural et après arrachage parfait de la culture précédente, la serre a subi un labour profond et un nivelage. Puis après avoir laissé 4 m du côté de chaque porte et une ligne sur chaque bordure pour éviter l'effet bordure, la serre a été partagée en 4 blocs de 3 parcelles chacun. Les parcelles sont délimitées par des ados d'environ 30 cm pour retenir le maximum d'eau.

Les T1 ont subi un bassinage avec l'eau chaude à un débit de 1.33 l/s et les parcelles T2 ont subi un bassinage à un débit de 2.03 l/s. Après infiltration totale de l'eau, les parcelles T1 et T2 ont été couvertes par du plastique; alors que les parcelles témoins sont restées sans aucun traitement. 15 jours après on enlève le plastique pour faire un traitement superficiel avec du formol à 1 0/00. Cette opération, du labour jusqu'au traitement au formol a été répétée une deuxième fois, une semaine après.

Au cours de la plantation de culture de tomate d'arrière-saison avec une variété résistante au nématode (Elena) on a laissé au niveau de chaque parcelle, deux parcelles élémentaires de 2 m de long sur chaque ligne de culture pour être plantées immédiatement par une variété sensible aux nématodes (H63 4). Au niveau de chaque parcelle élémentaire on a planté des plants surnuméraires pour servir aux échantillonnages au cours du cycle cultural.

3.1.1.2 - Paramètres étudiés

L'évaluation de l'efficacité de cette méthode de lutte contre les *Meloidogyne* a été basée sur des paramètres liés d'une part à la culture (indice de vigueur, indice de galles ...) et d'autre part à la dynamique des populations des nématodes dans les racines.

a - Indice de galles

Les *Meloidogyne* provoquent des déformations sur le système racinaire. Cette déformation peut être évaluée ou appréciée par un système de notation allant de zéro (0) pour les plants sains, à cinq (5) pour les plants fortement infestés.

Cette notation a été réalisée en fin de culture et avant dépérissement total des plants, sur l'ensemble des plants qui restent dans les parcelles élémentaires.

b - Indice de vigueur

A la fin de culture et sur les plants dans les parcelles élémentaires, une note de vigueur a été attribuée aux différents plants existants. La note zéro (0) a été affectée aux plants dépérissants et la note cinq (5) aux plants les plus vigoureux.

c - Dynamique de la population

La nématofaune au niveau des parcelles élémentaires a été analysée sur les racines à 4 reprises espacées d'une période de 3 semaines environ, (période optimale d'un cycle biologique de *Meloidogyne*).

L'extraction des nématodes a été faite selon la méthode centrifugale adoptée par le laboratoire de l'Institut des Régions Arides à Kébili et le dénombrement se fait sur coupelle quadrillée pour une faible population et les nématodes rares et sur lame de perters en cas de forte population.

3.1.1.3 - Résultats et interprétation

L'expérience faite par VERLODT et al (1992) en suivant l'évolution des températures dans le sol irrigué avec l'eau chaude a montré qu'avec un débit de 0.6 l/s, la température du sol à une profondeur comprise entre 20 et 50 cm, peut arriver à 70 °C après 25 minutes environ.

Dans notre essai, avec une température à la source de 51.5° dans des cuvettes de 120 m² environ à 30 cm de profondeur et avec des débits de 1.33 l/s et 2.03 l/s on est arrivé à 44 °C et 39 °C respectivement.

L'analyse nématologique au niveau des racines au cours du cycle cultural (Fig. 1) montre une différence de population très hautement significative entre les traitements et le témoin, alors que pour les traitements T1 et T2 il n'y a aucune différence significative. En plus de la diminution des populations de nématodes, on constate que les traitements évitent l'infestation précoce des plants.

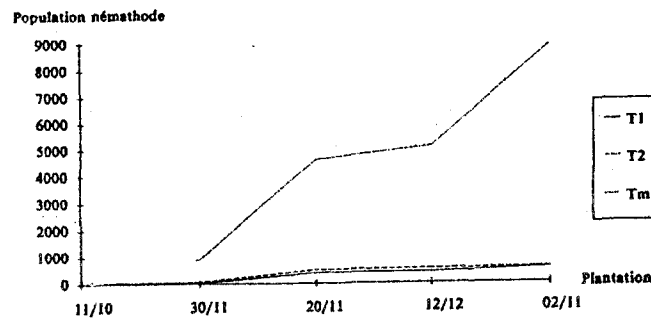


Fig. 1 dynamique de population de *Meloidogyne* en fonction des traitements

A la fin du cycle cultural, l'évaluation de l'indice de vigueur confirme ce résultat. En effet, en examinant le tableau d'indices de vigueur, on constate que les vigueurs des plants, qui sont en relation avec l'état d'infestation des racines sont très élevées pour les plants des parcelles traitées relativement avec les vigueurs des plants des parcelles témoins.

Tableau 1: Indice de vigueur moyenne en fonction des traitements

Traitement	Bloc				
	B1	B2	B3	B4	m
T1	3.7	3.2	3.9	3.7	3.55
T2	3.9	3.3	4	3.7	3.7
Tm	2	0	0.75	1.5	1.06

Les valeurs consignées dans le tableau N° 2, montre que l'indice de galle moyen des plants prélevés dans les parcelles traitées aussi bien par T1 que par T2 est de loin inférieur à celui des plants prélevés dans les parcelles non traitées (Tm) au niveau desquels on arrive dans certains cas à un maximum de valeur cinq (5).

A la fin du cycle cultural, les analyses nématologiques au niveau des racines montrent la présence des *Meloidogyne* aussi bien sur les plants des parcelles traitées que sur ceux des parcelles non traitées. Toutefois, au niveau de ces dernières, la population est nettement plus élevée (14 fois plus) par rapport à celle des parcelles traitées (Tableau n°2).

En calculant le sex-ratio (nombre de mâles/nombre de femelles), on constate qu'au niveau des parcelles témoins ce rapport se trouve plus élevé qu'au niveau des parcelles traitées (tableau n°2). La présence d'un nombre important de mâles dans une population de nématode indique généralement des conditions trophiques limitées. Il est par conséquent très probable que les traitements ont limité les populations des champignons telluriques qui rentrent généralement en concurrence avec les nématodes dans les racines. En effet, BOURBOS (1991) a constaté que l'action hygrothermique permanente tue ou inhibe le développement de nombreux champignons pathogènes et favorise la microflore antagoniste.

Tableau n°2: Population nématologique à la fin du cycle cultural sur tomate H634

Traitement		m	L2	mâle	femelle	Total	Sex-ratio
B1T1	1	172	302	35	23	532	0.65
B1T2	1.75	141	467	39	12	659	0.3
B2T1	1.5	182	353	29	12	575	0.41
B2T2	2	336	359	59	23	771	0.43
B2Tm	3.5	4070	4230	580	410	9290	0.7
B3T1	0.5	137	164	13	6	320	0.46
B3T2	0.75	151	520	52	18	747	0.31
B3Tm	4	3820	4060	700	470	9050	0.67
B4T1	0.75	221	362	47	22	652	0.45
B4T2	1	272	470	37	11	790	0.3
B4Tm	5	3790	4010	620	470	8890	0.75

Conclusion

Deux traitements successifs durant la saison estivale avec les eaux géothermales et la solarisation, ont permis d'augmenter la température et l'humidité du sol dans les serres. Ces deux facteurs montrent une efficacité incontestable contre le complexe parasitaire au niveau du sol. En effet, une température et une humidité élevées pourraient provoquer l'éclosion des oeufs des *Méloidogyne*, et tuent par conséquent les larves infestantes qui sont très sensibles, et inhibent le développement des champignons pathogènes en favorisant la microflore antagoniste.

L'effet de ces deux facteurs (température et humidité) est complété par un traitement au formol qui peut inhiber voire même tuer la plupart des constituants du complexe parasitaire dans le sol.

Cette méthode de lutte qui a montré son efficacité dans la plupart des cas, peut avoir ses limites, en particulier dans les sites de basse enthalpie ou dans les sites où le sol est mal drainant. Dans ces cas, il est possible de compléter cette technique par l'utilisation d'un nématicide hydrosoluble appliqué avec l'eau d'irrigation en cours de culture.

3.2- Produit chimique hydrosoluble

III-2-1-Matériel et méthode

Cet essai a été conduit dans une serre fortement infestée par les *Méloidogyne* dans la région de Kébili.

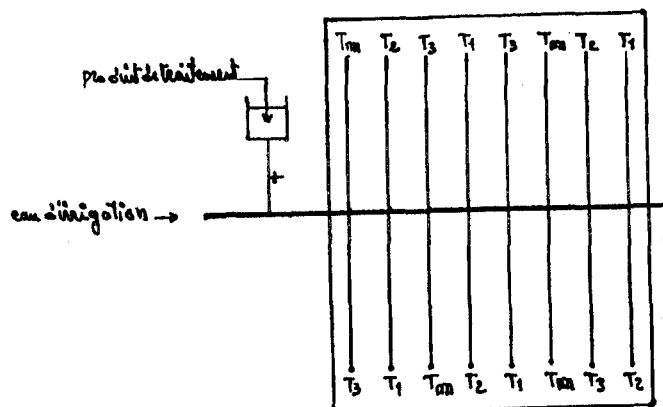
Le dispositif expérimental est du type complètement aléatoire avec quatre répétitions, trois traitements et un témoin. Le traitement T1 est une dose de 250 cc par serre donnée en quatre apports soit une dose de 62.5 cc par injection.

Le traitement T2 est une dose de 350 cc par serre et 87.5 cc par apport.

Le traitement T3 est une dose de 450 cc par serre et 112.5 cc par apport.

Le traitement Tm, sans traitement.

3.2.2-Protocole expérimental



3.2.3- Résultats et interprétation.

Malgré son importance en tant que critère d'évaluation dans les conditions de l'agriculteur, le suivi de la production, en particulier sur le plan quantitatif est difficile et risque d'induire en erreur et fausser le résultat. C'est pourquoi dans cet essai nous nous sommes limités à des critères fiables liés au système racinaire. En effet, les *Meloidogyne* se multiplient et se développent dans les racines, en provoquant des dégâts à leurs niveaux. Ces dégâts au niveau des racines se manifestent après, par des symptômes et des dégâts sur la partie végétative et les fruits.

Effet sur la population de nématodes (nombre de nématodes /5g de racines)

	T1	T2	T3	Tm
E1	4131	874	851	4338
E2	1302	361	317	1718
E3	1159	853	706	1717

L'analyse statistique montre une différence hautement significative entre T1 et T2, T1 et T3, Tm et T2, Tm et T3, mais pas de différence significative entre T1 et Tm ni entre T2 et T3.

Effet sur l'état des racines (% pourriture)

	Traitement	T1	T2	T3	Tm
Blocs					
B1	B1.1	30	15	7.5	50
	B1.2	15	5	5	30
B2	B2.1	20	0	20	80
	B2.2	25	5	0	25

Les nématodes favorisent généralement l'installation des champignons dans les racines ce qui provoque une destruction et pourriture du système racinaire. C'est pourquoi on a pris l'état du système racinaire comme critère d'évaluation de ce traitement contre les nématodes.

L'analyse montre en effet, une différence hautement significative entre Tm et T2, T3. Mais il y'a aucune différence significative entre T1 et Tm ni entre T2 et T3.

Le traitement par l'oxamyl en tant que nématicide hydrosoluble, appliqué en cours de végétation avec l'eau d'irrigation, à la dose de 350 cc par serre et divisés sur quatre apports espacés d'une période d'un mois en commençant des le début du deuxième mois après plantation, permet de réduire la population de nématode et améliorer la qualité du système racinaire.

Conclusion

La solarisation à l'eau géothermale est une technique qui a permis de maîtriser le problème des nématodes dans la plupart des cas des serres chauffées dans le sud Tunisien. En plus de son efficacité contre les nématodes, elle a un effet incontestable contre les champignons telluriques et permet un bon lessivage du sol.

L'application d'un nématicide hydrosoluble tel que l'oxamyl, essayé dans ce cas, vient compléter le traitement par la solarisation, surtout dans les sites qui présentent des limites qui peuvent réduire l'efficacité de la solarisation à l'eau chaude, soit par la qualité du sol ou par la basse enthalpie de l'eau géothermale dans certains cas.

Ces deux techniques appliquées correctement, retardent l'infestation, diminuent fortement la population des nématodes, favorisent un développement important du système racinaire et améliorent en fin la production qualitativement et quantitativement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aloui L. 1987 - Fiche monographique du Gouvernerat de Kebili. C.R.D.A. Kebili, 19 pp.
 Balashhowski - 1932: Les insectes nuisibles de l'Afrique
 B'chir M.M. 1982 - Les principaux nématodes associés aux cultures dans l'oasis de Tozeur. Annales de l'INRAT 55 (1982) - 1-3. 5pp.

- Bel Kadhi M.S. 1986 - Contribution à l'étude des problèmes posés par les nématodes associés aux pépinières d'arboriculture fruitière en Tunisie. Mémoire 3ème cycle, INAT. 124 pp.
- Bel Kadhi M.S. 1987: rapport d'activité de l'I.R.A. 1987.
- Bel Kadhi M.S.; V. Gerini :1988: Première contribution à l'étude des nématodes phytoparasites dans les oasis du Nefzaoua. Rivista di Agricoltura subtropicale e tropicale Amo lxxxII N -1-2 germaio - guigno .1988 pp. 281 - 296.
- Bel Kadhi M.S.; V. Gerini :1988: Apaté monachus F: coleoptera. bostrichidae. Un insecte qui pourra devenir un fléau aux palmiers dattiers dans les Gouvernorat de Kebili Rivista di Agricoltura subtropicale e tropicale Amo lxxxII N -1-2 germaio - guigno .1988 pp. 371 - 378.
- Bel Kadhi M.S ; Joost V.D Et Aoun F. 1993: Effet de l'énergie géothermale et la solarisation du sol, sur les nématodes associés aux cultures sous-serre chauffée Revue des Régions Arides n°= 1/93pp 91-101.
- Bouhelier, R. - 1933: Les insectes xylophages de arbres fruitiers au Maroc. Revue Agricole de l'Afrique du Nord N° 713, pp. 199-201.
- Bourbous, V.A. Et Skoudridakis, M.T. (1991): Lutte contre la pourriture brune des racines de tomate en serre, par la solarisation du sol. Bulletin SROP 1991/XIV/5, pp: 172-177.
- Elhaydari, H. - 1980: Les insectes des palmiers et des dattes: F.A.O Bagdad pp. 33.
- Gillard A. 1985 - Nématodes phytoparasites de la Tunisie. Med. Fac. Landbounw. Rijksuniv. Gent. 50/4 1413-1436.
- Martin, H. - 1959: Ravageurs et maladies du palmier dattier en Libye. 1 st F.A.O. Int. tech. Meeting. date prod. and processing, 5-11 Dec. 1959, Tripoli, Libya. F.A.O., Rome 9 pp.
- Pagliano, T. - 1951: Les ennemis des vergers, des olivettes et des palmeraies. Ed. 2, office Exp. et vulgarisation Agric. Soc. Edition Française, Afr. Nord 366 pp.
- Sghaier M. 1987 - Etude monographique des oasis Nefzaoua. Vol. II. Non publié. I.R.A. Kebili, 40 pp.
- Toutain, G. - 1967: Le palmier dattier, culture et production. Al Awamia 25/83-151.
- Youga N. 1985 - Etude préliminaire des principaux nématodes associés aux céréales dans le Nord-Ouest de la Tunisie. Mémoire 3ème cycle, I.N.A.T. 87 pp.
- Anonyme, 1978: Pests and Diseases of Date palm A.H. 527/12/78 pp. 42

GESTION DES EAUX SALEES EN IRRIGATION : CAS DES CEREALES

K. Nagaz*, N. Ben Mechlia** & A. M'Charek*

* Institut des Régions Arides - 4119 Medenine - Tunisie

**INAT 43 Avenue Charles Nicole - 2083 Tunis - Tunisie

RESUME

Dans les zones arides, les ressources en eau sont de plus en plus rares et l'écart croissant entre ces ressources et les besoins d'irrigation est tel qu'il convient d'aborder l'emploi des eaux salées disponibles en grandes quantités. Leur utilisation peut réduire au minimum les rendements et détruire les caractéristiques physico-chimiques du sol. L'utilisation des eaux salées doit, donc, être basée sur une gestion rationnelle de cette ressource.

Dans ce contexte, plusieurs essais d'irrigation des céréales à l'eau salée ont été menés dans le sud tunisien. Un premier travail vise l'étude de l'effet des modes d'apport d'eau de qualités différentes sur le comportement et la production d'orge. La réponse du sorgho à grain à différentes doses d'irrigation a, également, été étudiée. Dans les deux cas la salinité du sol a été suivie.

Les résultats montrent que le rendement aussi bien en grain qu'en matière sèche finale est affecté par les modes d'apport d'eau et les doses d'irrigation apportées. L'alternance des eaux de salinité variable résulte en une réduction de la salinité du sol. Par contre les doses d'irrigation ne montrent pas une différence significative entre-elles.

Mots-clés : céréales, milieu aride, rendement, gestion de l'eau salée, efficacité de l'utilisation de l'eau.

SUMMARY

In arid zones, water resources are more and more rarely and the difference between these resources and irrigation requirements allows the use of saline waters available in great quantities. Their use might reduce the yields and destroy physical and chemical soil characteristics. Saline water should be applied in a rational way.

In this framework, many investigations of cereals irrigation with saline water were carried out in the south of Tunisia. A first one attempts to study the effect of water supplies of different qualities of grain sorghum to different irrigation doses was showed as well. In two cases, the soil salinity has been followed.

The results showed that the yield of both grains and dry matter, was affected by water supplies and irrigation application depth. The alternation of water of different qualities may reduce the soil salinity; whereas there is no significant difference between the irrigation doses.

Key words : cereals, arid zone, yield, saline water, management, water use efficiency.

INTRODUCTION

L'agriculture moderne est une agriculture des efficacités où les ressources disponibles doivent être utilisées d'une façon rationnelle. Parmi celles-ci, l'eau constitue le facteur essentiel d'amélioration et de stabilisation de la production céréalière et en même temps une ressource de plus en plus rare. Cette contrainte hydrique est posée actuellement avec acuité et impose l'utilisation des eaux salées disponibles en grandes quantités dans le sud-est tunisien. Cependant, le mode de transport des sels et leur accumulation à travers le profil du sol dépend de la qualité et la quantité de l'eau d'irrigation. Ces facteurs, associés à ceux environnementaux tels que l'évapotranspiration, l'intensité et la distribution de la pluie...déterminent le développement de la salinité du sol. Des essais expérimentaux montrent qu'en pratiquant des systèmes de cultures efficaces, la qualité d'eau a des répercussions plus importantes que la quantité (Shalhevet et Reiniger, 1964; Bajwa et al., 1983), et que la gestion de l'eau, du sol et des plantes est indispensable en conditions d'irrigation avec les eaux salées (Ayers et Westcot, 1976; Shainberg et Oster, 1978).

La gestion de l'eau salée pour l'irrigation est considérée comme un des facteurs potentiels visant à réduire les effets des sels sur la croissance de la plante et son rendement et la qualité de la production. Cette gestion se base sur le choix des modes d'apport d'eau de qualités différentes, le pilotage d'irrigation et la gestion du lessivage.

1. Essai sur la gestion des eaux de qualités différentes

1.1. Objectif et méthodologie

L'objectif de cet essai est d'évaluer les modes d'apport d'eau et d'étudier leur influence sur la production d'orge (*Hordeum vulgare* L. var *Ardhaoui*) et sur la salinité du sol. Cet essai s'est déroulé durant deux années successives 1994- 1995 et 1995 - 1996, au domaine expérimental de l'IRA à Ben Gardane. Le sol est sableux de salinité initiale égale à 1,14 dS/m. La dose d'irrigation adoptée est fixée à 40 mm afin d'éviter la perte par percolation. Les eaux utilisées pour l'irrigation sont l'eau de ville (CEi = 3,4 dS/m) et l'eau de puits (CEi = 11,7 dS/m). Au début, une irrigation avec l'eau de ville était pratiquée aux stades de germination et d'établissement des plants. Après ces stades, les plantes cultivées ont été soumises aux régimes d'irrigation suivants: (i) témoin, irrigué avec l'eau de ville (Eq), (ii) irrigation en continue avec l'eau de puits (Es), (iii) irrigation avec l'eau de ville et l'eau de puits par alternance (Eq/Es) et (iv) mélange d'eau des deux sources à une proportion de 50 % chacune (Eq-Es) (CEi de l'ordre de 6 à 7 dS/m).

1.2. Résultats et discussion

Les résultats obtenus montrent que l'effet de la salinité est plus prononcé sur la production de grains que sur la production de la matière sèche. La figure 1 montre que l'irrigation continue avec l'eau de puits résulte en une réduction de 11,6 % dans la production de matière sèche finale par rapport au témoin. L'alternance régulière des deux qualités d'eau engendre une amélioration relative des rendements encore plus élevée que celle obtenue avec le mélange.

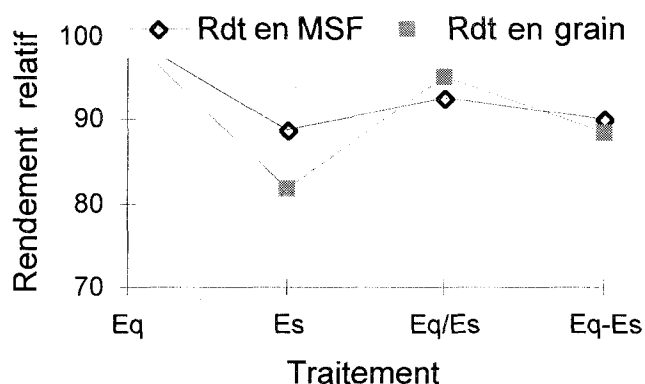


Figure 1. Variation des rendements en grains et en matière sèche finale sous les traitements d'irrigation appliqués

Dans ces conditions, le rendement en grain montre une tendance similaire à celle observée pour le rendement en matière sèche finale. Une amélioration considérable est obtenue sous le régime d'alternance. La supériorité de l'alternance par rapport au mélange provient des écarts enregistrés au niveau du 1000-grains. En effet, c'est l'alternance qui permet d'avoir un poids de 1000-grains satisfaisant (figure 2). Cela s'explique qu'avec une utilisation séparée des eaux de qualités différentes,

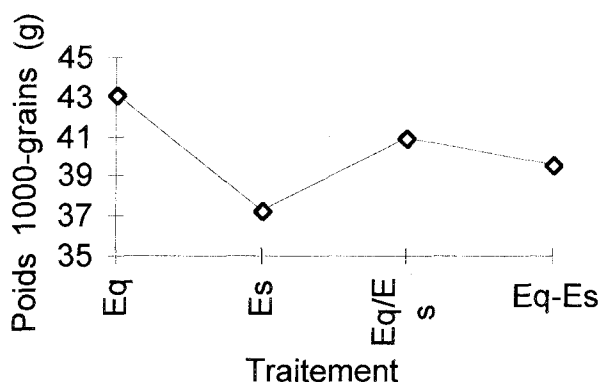


Figure 2. Poids de 1000-grains en (g) sous les traitements d'irrigation appliqués

la salinité du sol est contrôlée par le phénomène de lessivage qui va prévenir l'occurrence du stress salin au stade de formation des grains et leur remplissage ce qui augmente le taux d'accumulation de la matière sèche.

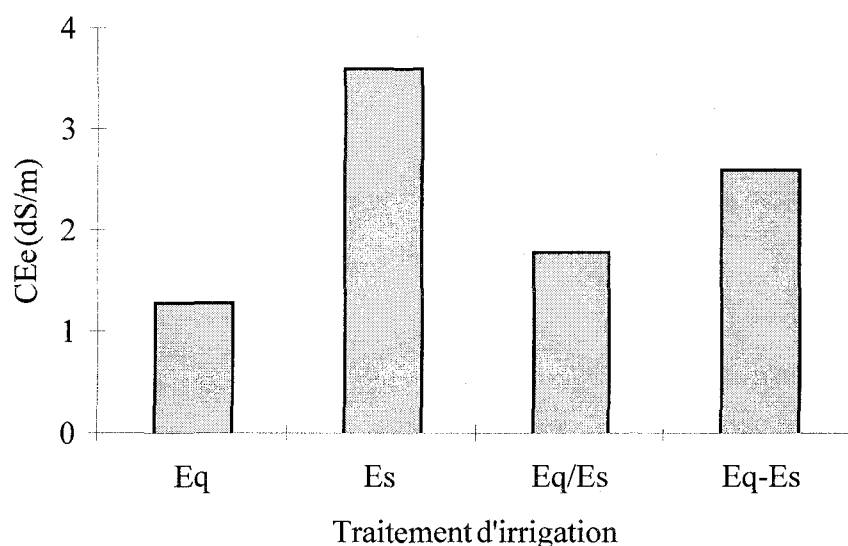


Figure 3. Variation de la salinité du sol (ds/mm) sous les différents modes d'apport d'eau

La figure 3 montre que le régime d'alternance est aussi le meilleur pour maintenir la salinité du sol à un niveau acceptable. Cette condition ne peut pas être réalisée par le mélange où l'irrigation est pratiquée avec des eaux de salinité constante qui, au contraire, favorise l'accumulation des sels dans le sol. D'autre part, on observe que les valeurs de salinité du sol sous les différents traitements sont plus faibles que celles des eaux d'irrigation utilisées. Cela s'explique, d'une part, par la nature sableuse du sol qui semble contrebalancer la médiocrité des eaux d'irrigation et d'autre part par le lessivage des sels par les pluies enregistrées durant les deux années d'étude et qui ont garanti un lessivage adéquat des sels (figure 4).

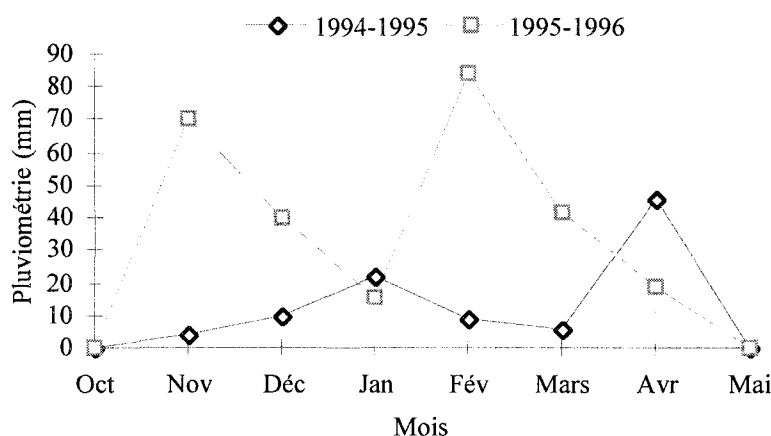


Figure 4. Répartition de la pluviométrie mensuelle (en mm) au cours de la période d'expérience durant les deux années d'étude

2. Essai doses d'irrigation et gestion du lessivage

2.1. Procédure expérimentale

Le but de cette investigation est d'évaluer la réaction du sorgho à grain (*Sorghum bicolor* L.) à la dose d'irrigation et de caractériser la salinité du sol sous les variables doses d'irrigation. L'essai est conduit au Centre de Formation et de Recyclage Agricole de Médenine situé à 5 Km de Boughrara. Le couvert végétal est représenté par la variété du sorgho à grain Ardhaoui. L'eau d'irrigation (eau de puits) a une salinité de l'ordre de 7 dS/m. Le semis a eu lieu le 1 Juin 1995 avec une dose de 150 Kg/ha. Les parcelles ont reçu une fertilisation de 180 Kg/ha

d'azote avant le semis et 100 unités d'azote/ha au tallage. La texture du sol est sablo-limoneuse d'humidité à la capacité au champ de 23.40% et de 15,6% au point de flétrissement permanent donnant ainsi une réserve en eau disponible de 115 mm sur 100 cm de profondeur.

Les traitements préconisés sont les suivants: T1. 75% de la capacité au champ, T2. 100% de la C.C (traitement normal), T3. 125% de la C.C (lessivage permanent) et T4. le même que le traitement T3, mais le complément par rapport au traitement T2 est apporté en deux fois au cours du cycle de la culture (lessivage intermittent). Le précédent cultural est le même pour tous les traitements, il s'agit d'une culture d'orge.

L'évolution de la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS/m) a été suivie au cours du cycle de la culture. La méthode utilisée est celle de la pâte saturée mise au point par le laboratoire de RIVERSIDE (USA). Pour apprécier le rendement, 2 critères ont été retenus à savoir le rendement en grain et la production de la matière sèche finale.

2.2. Résultats et discussion

Evolution de la salinité du sol

La mesure de la conductivité électrique (CE) exprimée en dS/m fait ressortir des résultats caractéristiques d'une région aride. Des valeurs moyennes relativement faibles sont observées au démarrage de la culture. Par suite, la salinité semble augmenter au niveau de tous les traitements. Elle atteint son maximum à la récolte pour l'ensemble des traitements (figure 5). Le C.E. est variable en fonction de la dose d'irrigation. Globalement, elle est plus élevée au niveau du traitement d'économie d'eau T1 et celui normal T2 qu'au niveau des autres traitements T3 et T4. En effet, les traitements T1 et T2 présentent une CE toujours supérieure à celle de T3 et T4. Les différences observées ont comme origine les différences d'apport d'eau. Cette différence ne dépasse pas le 1 dS/m. Nous rejoignons ainsi la conclusion obtenue par Van Hoorn (1971) en Tunisie. Etant donné que les différences moyennes observées ne dépassent jamais le 1 dS/m, ce sont donc les considérations agronomiques qui doivent prévaloir pour le choix de la dose d'irrigation.

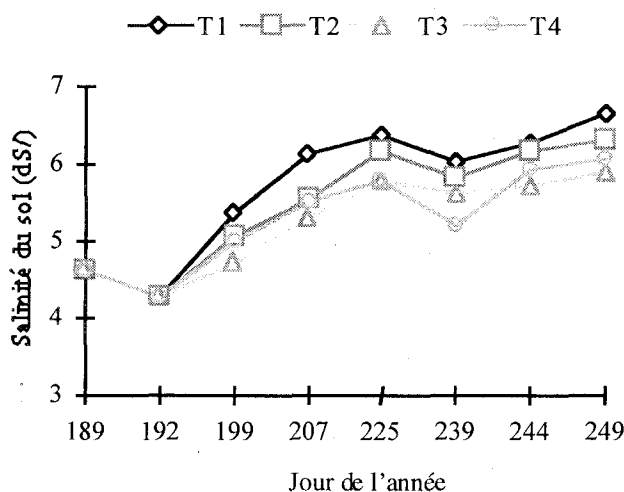


Figure 5. Evolution de la salinité (en ds/m) du sol durant le cycle végétatif du sorgho à grain.

Rendement de la culture

Le rendement en grain est le paramètre le plus important dans cette étude puisqu'il concerne directement la production. La production de grain est affectée par la dose d'irrigation. Le traitement de dose réduite T1 présente la production la plus faible. Cela est attribuable à l'effet combiné du stress salin et hydrique. Le maximum du rendement est atteint au niveau du traitement normal T2 (figure 6). L'utilisation d'une dose d'irrigation réduite a engendré une diminution dans la production de grain de 16% par rapport au traitement T2. Egalement le traitement T3, qui ne montre pas une différence significative par rapport au traitement T4, n'a conduit qu'à une amélioration de 10% par rapport au traitement d'économie d'eau.

Pour la production de la matière sèche finale (tiges + feuilles), une tendance similaire à celle observée pour le rendement en grain est remarquée (figure 6).

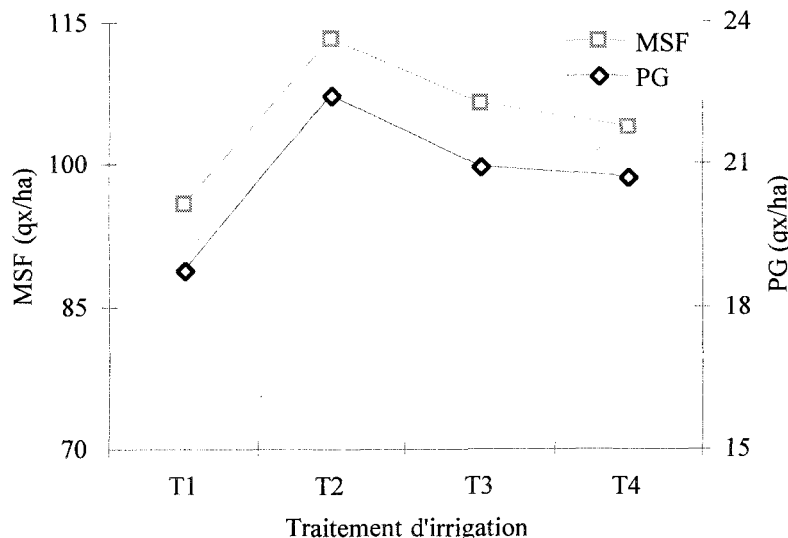


Figure 6. Rendement en grain et en matière sèche finale du sorgho à grain sous les différents traitements appliqués.

Dans les conditions de l'irrigation avec une eau de CE de 7 dS/m, le traitement d'économie d'eau T1 a donné la meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau aussi bien pour le rendement en grain que pour la matière sèche finale. Alors que pour le traitement T3, l'efficacité de cette dose a été moins importante et à peu près égale à celle du traitement T4 (figure 7). Il en découle que ces deux traitements ne semblent pas apporter un supplément de rendement malgré la différence dans la quantité d'eau appliquée par rapport aux autres traitements. La réduction du rendement est probablement attribuable au faible aération du sol due aux apports supplémentaires qui se produit au cours de la végétation ou au lessivage des éléments nutritifs.

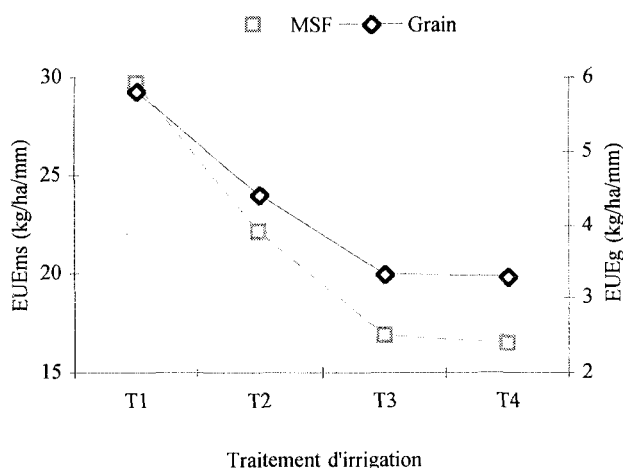


Figure 7. Efficacité de l'utilisation de l'eau pour le rendement en grain et la matière sèche finale sous les différents traitements appliqués

3. Conclusion

Les résultats qui viennent d'être exposés dans cette présentation, concernant les modes d'apports d'eau, le pilotage d'irrigation et la gestion du lessivage, illustrent les conséquences de l'utilisation de l'eau saline sur la croissance végétative et la production des cultures étudiées. L'essai porté sur l'orge a fait apparaître l'intérêt d'alternance dans l'économie d'eau de bonne qualité et la valorisation des eaux salées. L'incidence d'utilisation des eaux salées à travers l'alternance par rapport au mélange se traduit par une amélioration du rendement d'orge et la réduction de la salinité du sol.

Les résultats relatifs à la dose d'irrigation sur le comportement productif du sorgho à grain montrent que la dose d'irrigation affecte le rendement de l'espèce étudiée et l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Une réduction de la consommation, en eau affecte le rendement du sorgho (grain et matière sèche) mais elle augmente l'efficacité de l'utilisation de l'eau. A des quantités d'eau consommées croissantes, on n'observe pas des productions variant dans le même sens. Les traitements qui ont consommé des quantités d'eau supérieures ont produit des quantités inférieures. Ces données permettent de critiquer l'idée selon laquelle la production est fonction sensiblement linéaire des quantités d'eau consommées. Cela reste à confirmer par des expériences à long-terme pour pouvoir enfin développer des recommandations de régimes d'irrigation en milieu salin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ayers H.S., Westcot D.W., 1976. Water quality for agricultural. Irrigation and drainage paper N° 29, FAO, Rome.
- Bajwa M.S., Hira G.S., Singh N.T., 1983. Effect of sodium and bicarbonate irrigation waters on sodium accumulation and on maize and wheat yields in Northern India. Irrig Sci. 14: 191 - 195.
- Shalhevet J., Reinger P., 1964. The development of salinity profiles following irrigation of field crops with saline water. Israel J Agric Res 14: 4 - 11.
- Shainberg I., Oster J.D., 1978. Quality of irrigation water. IIIc publication n°2. Intern Irrig Inform Center. Bet Dagan, Israel.
- Van Hoorn J.W., 1971. Salt tolerance and crop management on salt tolerant crops. Salinity seminar Baghdad. Irrigation and Drainage paper 7. FAO p 136-149.

COLLECTE, EVALUATION ET UTILISATION DES RESSOURCES LOCALES D'ORGE DU SUD DE LA TUNISIE

El FELAH M.*

* Laboratoire de Génétique des Céréales de l'INRAT
Rue Hédi Karray, 2049 Ariana-Tunisie

RESUME

L'orge a été, pendant longtemps, la céréale à paille la plus cultivée. De part sa large distribution géographique, son utilisation très diversifiée, la mise au point de variétés d'orge adaptées aux conditions climatiques de la Tunisie est impérative pour répondre à la demande accrue en fourrages et autres aliments de bétail. Les variétés améliorées d'orge de grande culture, que ce soit nouvelles ou anciennes, donnent des rendements en grains importants en conditions favorables. Par contre, en conditions difficiles, les rendements chutent considérablement et parfois la récolte est nulle.

Dans ce cadre, un programme d'amélioration et de sélection variétale d'orge a été mis au point en vue d'obtenir des lignées d'orge adaptées aux conditions de stress biotiques (maladies, insectes) et abiotiques (sécheresse, hautes et basses températures, ect...). Dans le cadre de ce programme, une collecte de 423 écotypes d'orges a été réalisée à partir de prospections dans la zone côtière, la région du centre et du sud et dans les îles de Djerba et de Kerkena.

L'évaluation de cette collection, pour différents critères, a permis de retenir 10 écotypes, originaires de Djerba, de Mahdia et de Kerkena, qui ont été ensuite sélectionnés et croisés entre eux et aussi à des variétés améliorées à deux rangs et à 6 rangs.

Un cycle de 4 à 6 années de sélection pedigree dans le sub-humide et le semi-aride supérieur de la Tunisie, a permis de suivre les croisements réalisés entre variétés améliorées et écotypes locaux. Ce sont les croisements réalisés avec les écotypes locaux qui ont donné les meilleurs gains génétiques, comparativement aux croisements réalisés entre variétés d'orge améliorées.

Par ailleurs, on a noté au cours de cette expérimentation en années favorables ou en années difficiles, certaines lignées, en 2ème année, en 3ème année et en 4ème année d'essai de rendement, ont dépassé significativement la variété témoin la plus productive, Rihane, à Béja, Bou Salem et au Kef de 15 à 40 %.

Mots clés : orge ; collecte ; accession ; variété ; sélection ; polymorphisme ; adaptation.

SUMMARY

Barley is one of the most grown cereal crop in the world. Used especially as food and feed, improved barley cultivars are not really adapted to environment stresses. Pests, drought, heat and cool cause yield losses each year in improved varieties.

A barley program was established in 1984-85, concerning local genetic resources in barley. The program established on this aim began by a prospection generalised to the south of the country and allowed us to have a collection of different accessions in barley adapted to different environments.

Parents are tunisian landraces, improved two and six-rowed barley cultivars. 81 crosses were among landraces and between landraces and improved two and six-rowed cultivars. During six years of pedigree selection, several lines have been selected. The best ones are issued from crosses between landraces and improved cultivars.

In yield trials, conducted 2 to 4 years in 3 sites (Beja, Bou Salem, Kef), these lines outyielded the local check Rihane by 15 to 40 %.

INTRODUCTION

Il est aujourd'hui admis que la sauvegarde du milieu constitue la priorité dans les préoccupations de tous les pays de par le monde. La prise de conscience collective a poussé les pouvoirs publics à se doter de moyens suffisants et adéquats pour préserver le milieu écologique de toute catastrophe tout en assurant un développement économique et social qui répond souvent au plan établi.

Dans ce cadre, en Tunisie, la collecte, le maintien et la conservation des ressources phylogénétiques a été depuis longtemps entretenue.

Au Proche-Orient et en Afrique du Nord, les populations naturelles des ancêtres du blé et de l'orge constituent le réservoir le plus important de la diversité génétique de ces espèces dans le monde (Jan et Srivastava, 1982). Ainsi, il est nécessaire d'avoir une base génétique assez diversifiée de germoplasme qu'on peut enrichir continuellement à partir des ressources génétiques.

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'évaluer systématiquement le germoplasme disponible dans plusieurs sites et élargir sa base génétique par les nouvelles collections. Ces collections bien organisées, protègent nos ressources phylogénétiques contre une érosion génétique assez rapide.

Dans cet ordre, une collecte d'orge a été organisée en 1982. La prospection a concerné principalement la zone côtière, le centre et le Sud, les îles de Djerba et de Kerkena.

L'évaluation de cette collection a concerné plusieurs critères dont notamment les maladies foliaires de l'orge les plus importantes en Tunisie, le rendement en grains et ses composantes, les protéines de réserve du grain. Un programme de croisement a été initié en 1985.

Après plusieurs générations de sélection pedigree, des lignées prometteuses ont été sélectionnées.

Matériel et méthodes:

1. Matériel biologique

81 croisements ont été réalisés au cours de la campagne céréalière 1984-85 à Béja. Les géniteurs utilisés sont composés de variétés d'orge améliorées dont :

- une variété ancienne à six rangs : Martin (1936).
- une variété ancienne à deux rangs : Cérès (1968).
- 3 variétés nouvelles à deux rangs : Faiz, Taj et Roho (1985).
- une variété nouvelle à six rangs : Rihane (1987).
- une variété introduite à six rangs : Europa.

Les croisements réalisés sont montrés dans le tableau 1.

2. Milieu de culture

2.1. Station de Béja

Cette station est située dans l'étage sub-humide variante à hiver doux, avec une moyenne de 600 mm de pluie par an. Ce site est situé à une latitude de 37 degrés et une longitude de 9 degrés. En fin de printemps, les hautes températures peuvent causer l'échaudage (El Felah et al., 1991).

2.2. Station du Kef

Cette station est située dans l'étage semi-aride, variante à hiver frais. Elle est située à une latitude de 38'N, longitude de 008 50'E et une altitude de plus de 500 mètres. La pluviométrie est voisine de 400 par an. Les basses températures en hiver et les gelées printanières sont fréquentes.

2.3. Station de Hindi Zitoun

Cette station est située dans l'étage semi-aride variante à hiver doux. Elle est située à une altitude de 74 m, longitude 10.33'E et une latitude de 35 - 51'N. Les hautes températures sont à craindre en fin de cycle. Au Kef et à Hindi Zitoun, le manque d'eau est fréquent pendant la période de remplissage des grains.

3. Méthode de sélection

Différentes méthodes de sélection sont utilisées dans l'amélioration variétale des céréales à paille. dans cette étude on a utilisé la méthode généalogique ou méthode pedigree (Fig. 8).

Deghaï, en 1991, avait montré, dans une comparaison de différentes méthodes (Pedigree, bulk modifiée et filiation unipare), que la méthode Pedigree est la plus efficace pour les travaux de sélection de lignées productives. L'auteur a conduit ses travaux à Béja et au Kef.

4. Sélection en F2 (1986-87)

Les croisements F2 ont été semés à Hindi Zitoun et à Béja au cours de la campagne 1986-87. On a pratiqué la sélection de plantes. Les plantes hautes, résistantes à la verse, indemnes et fertiles sont sélectionnées au champ. Au laboratoire, le tri se fait sur grain. les croisements qui donnent des grains assez petits, échaudés sont éliminés. La sélection porte aussi sur la couleur des grains.

5. Sélection en F3 (1987-88)

Les lignées F3 sont semées en deux lignes de 2,5 m de longueur. 15 épis sont sélectionnés dans les lignées retenues. Les pépinières F3 ont été semées à Béja et à Hindi Zitoun.

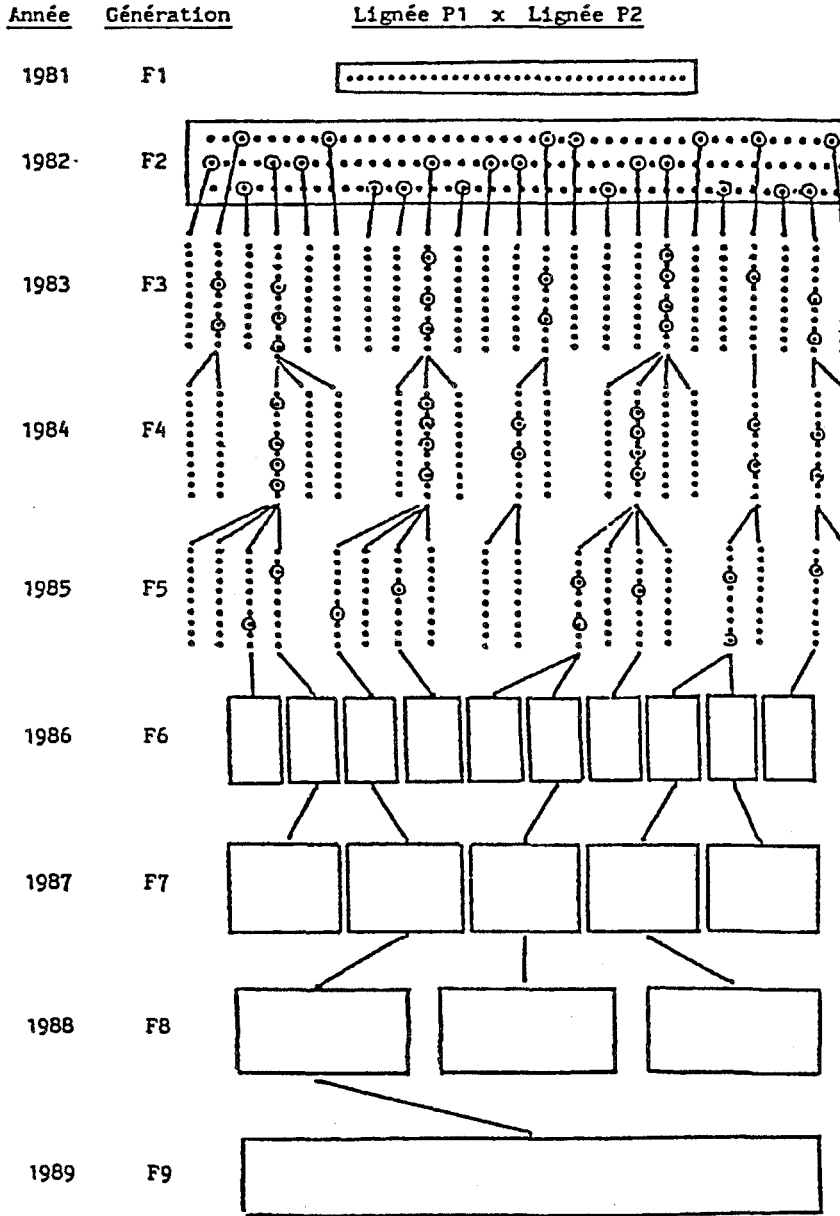


Schéma d'une sélection généalogique avec sélection dès la F2.

6. Sélection en F4, F5, F6 et F7 (1988-1992)

Les familles de 15 lignes F4 ont été semées à Béja et au Kef. Les familles F4 sub-humide provenant de Hindi Zitoun ont été semées à Béja et au Kef. Les familles F5, F6 et F7 ont été semées à Béja et au Kef.

Résultats:

Les résultats de sélection dans les différentes pépinières ségrégatives F2, F3, F4, F5, F6 et F7 sont présentés dans le tableau 4.

30 croisements F2 ont été retenus dans la zone sub-humide (SH) et 25 croisements F2 dans la zone semi-aride (SA). 29 croisements ont en commun un des parents une orge locales (OL) et 5 croisements sont issus de l'union de deux orges locales. Les autres croisements sont issus de l'union entre variétés améliorées (VA) à deux rangs ou à six rangs. A Hindi Zitoun (étage semi-aride), 18 croisements F2, sur un total de 25 croisements choichis, sont issus de l'union entre de variété améliorées avec une orge locale ou de l'union entre orges locales.

Au niveau de la génération F3, on constate que les lignées semées dans le sub-humide ou dans le semi-aride supérieur, ont montré une diversité de comportement assez importante.

Cette diversité s'est manifestée surtout au niveau du tallage, la longueur de l'épi, la réaction à l'oïdium et à l'helminthosporiose striée.

Les lignées F3 issues de croisements entre variété améliorée à 2 rangs et orge locale ont été les plus choisies dans le semi-aride, alors que les lignées F3 issues de croisements de type [(Va (2R)/VA (6R))] ont été les plus sélectionnées.

Pour la génération F4, on commence la sélection dans des familles de 15 lignées chacune. Les croisements de type [VA (2R)/VA (2R)] et [VA (2R)/VA (6R)] ont été les plus choisis. 40 familles ont été sélectionnées au niveau du croisement du type [VA (2R)/VA (2R)]. Les familles issues de croisements, où l'un des 2 parents est une orge locale, ont été les plus sélectionnées dans le semi-aride. Au cours de la génération F5, les croisements issus de type [VA (2R)/VA (6R)] et [VA (2R)/OL (6R)] ont été les plus sélectionnés dans l'étage sub-humide. Par contre, dans l'étage semi-aride, les croisements issus de l'union d'orges locales [OL (6R)/OL (6R)] sont les plus choisis avec 6 lignées F5 retenues au Kef. La sélection a continué en F6 et F7 pour les croisements de type [VA (2R)/OL (6R)] et [OL (6R)/OL (6R)].

Conclusions générales et discussions:

Dans l'étage sub-humide, les variétés d'orge améliorées à 2 rangs ont montré une bonne aptitude à la combinaison surtout lorsqu'elles sont utilisées comme géniteur femelle (Fig. 1, 2 et 3).

La performance de ce type de croisement dans ces zones favorables aux grandes cultures a été illustrée d'une façon très significative pour le type de croisement [(VA (2R)/VA (6R))]. (Fig. 2), contrairement au résultat enregistré pour son réciproque [VA (6R)/VA (2R)], (Fig. 4).

Les variétés améliorées à six rangs n'ont pas donné totale satisfaction comparée à celles à deux rangs. En effet, aucune lignée n'a été sélectionnée pour les croisements de type [(VA (6R)/VA (6R))], (Fig. 5). Même les quelques croisements choisis au champ à Béja ont été éliminés au laboratoire après tri sur grain.

Ainsi, il semble que le polymorphisme de l'épi pour les variétés d'orge améliorées jouerait un rôle important dans le choix de géniteurs dans les zones favorables.

De même, l'effet maternel des orges améliorées à deux rangs a été démontré dans la sélection de cultivars d'orge adaptés aux zones favorables du Nord de la Tunisie.

Pour les étages semi-arides, on remarque que les orges locales à six rangs utilisées comme parents ont un effet significatif sur l'efficacité de sélection de cultivars d'orges adaptés aux zones difficiles où les stress thermiques et hydriques entravent considérablement la production, (Fig. 7). L'utilisation des orges locales dans un programme de sélection est d'un grand intérêt. Ces écotypes peuvent être exploités en tant que source de résistance aux stress abiotiques (salinité, manque d'eau, hautes et basses températures, etc...).

La sélection de plusieurs lignées adaptées aux zones semi-arides montre l'importance des orges locales en tant que ressources génétiques adaptées aux zones difficiles (Grando et al., 1985).

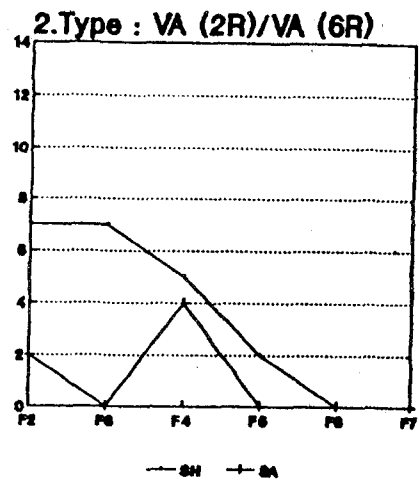
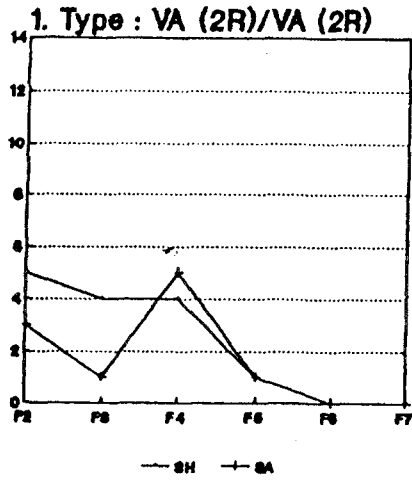
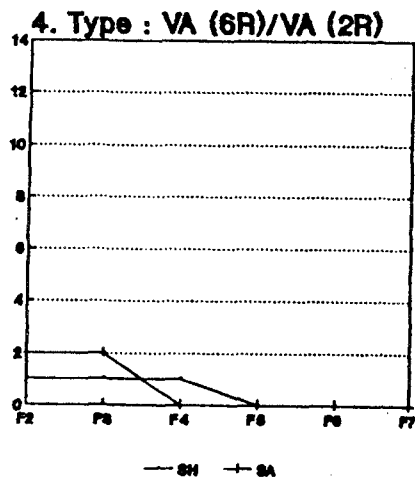
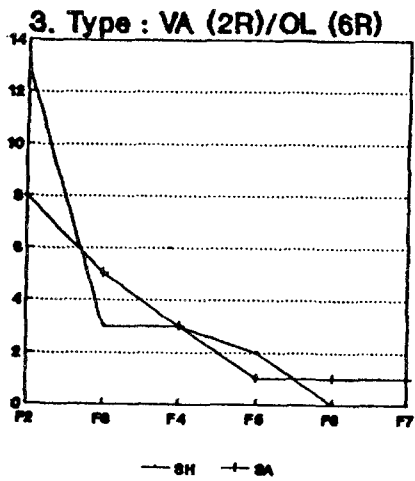


Fig. : Evolution de la sélection au cours de générations ségrégatives selon le type de croisements



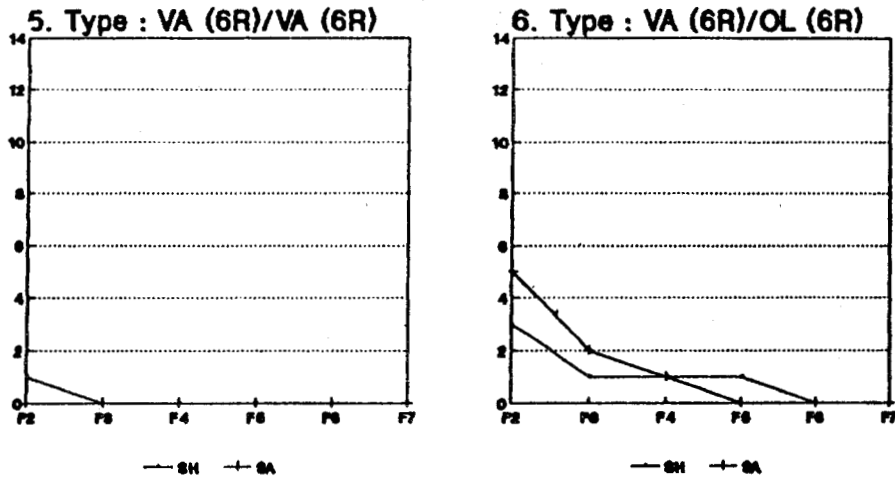
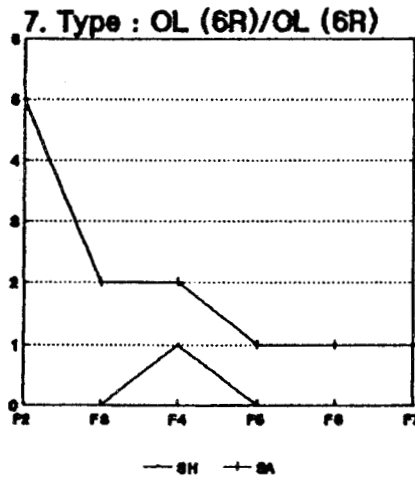


Fig. : Evolution de la sélection au cours de générations ségrégatives selon le type de croisement



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Deghais L., 1991. Comparaison de méthodes et d'itinéraires de sélection de blé (*T. turgidua* L. Var. durum et *T. aestivum*) en conditions semi-arides. Thèse de doctorat d'Etat es Sciences, 297 p., Univ. Paris-Sud Centre d'Orsay.
- El Felah M., Chalbi N., El Gazzah M., 1991. Analyse de l'adaptation à l'aridité de quelques ressources génétiques locales d'orge (*Hordeum vulgare* L.) comparativement à des variétés améliorées. In « l'amélioration des plantes pour adaptation en milieu arides ». Deuxième journées scientifiques du réseau « Biotechnologies végétales », Tunis, 4-9 décembre 1989. responsables scientifique : N. Chalbi, Y. Demarly. Editions John libbey Eurotext, 226 p., 197-209.
- Grando S., Falisticco E., Cecarelli S., 1985. Use of wild relatives in barley breeding. *Genetic Agraria* 39:65-75.
- Jana S., Srisvastva J.P., 1982. Conservation of genetic Ressources of Wheat and Barley at ICARDA. *Rachis*, n°1, Nov. 1982:5-36.

Tableau : Tableau récapitulatif des croisements sélectionnés au cours des différentes générations ségrégatives en fonction du type de croisement.

Type de croisements		VA (2R)/VA (2R)			VA (2R)/VA (6R)			VA (2R)/OL (6R)			VA (6R)/VA (2R)			VA (6R)/VA (6R)			VA (6R)/OL (6R)			OL (6R)/OL (6R)		
Génération		NCS	NPS	NLS	NCS	NPS	NLS	NCS	NPS	NLS	NCS	NPS	NLS	NCS	NPS	NLS	NCS	NPS	NLS	NCS	NPS	NLS
F2	SH	5	-	-	7	-	-	13	-	-	1	-	-	1	-	-	3	-	-	0	-	-
	SA	3	-	-	2	-	-	8	-	-	2	-	-	0	-	-	5	-	-	5	-	-
F3	SH	4	-	16	7	-	20	3	-	3	1	-	4	0	-	0	1	-	1	0	-	0
	SA	1	-	2	0	-	0	5	-	12	2	-	2	0	-	0	2	-	4	2	-	4
F4	SH	4	6	15	5	9	19	3	4	3	1	1	3	0	0	0	1	2	3	1	1	2
	SA	3	12	25	4	9	14	3	6	15	0	0	0	0	0	0	1	2	4	2	2	5
F5	SH	1	1	3	2	2	5	2	1	5	0	0	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0
	SA	1	1	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6
F6	SH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SA	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
F7	SH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SA	0	0	0	0	0	0	1	1	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2B

Abréviations : VA (2R) : variété améliorée à 2 rangs

VA (6R) : Variété améliorée à 6 rangs

OL (6R) : Orge locale à 6 rangs

NCS : Nombre de croisements sélectionnés.

NPS : Nombre de familles sélectionnées

NLS : Nombre de lignées sélectionnées

SH : Etage sub-humide

SA : Etage semi-aride

CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DE TROIS CEREALES (BLE, TRITICALE, ET ORGE) CULTIVEES EN MILIEU HYDROPONIQUE SOUS CONTRAINTE SALINE

BOUNAQBA SOUAD, YACOUBI-TEJ M'BARKA ET ZID
EZZEDDINE

Laboratoire de Physiologie et Ecophysiologie Végétales.
Faculté des Sciences de Tunis II. Campus Universitaire.
1060 Tunis. Tunisie.

RESUME

Notre étude porte sur un suivi de l'effet de NaCl sur le développement des plantes de blé tendre (*Triticum aestivum*, var. Salambo), de triticales (X, *Triticosecale wittmack*, Tcl 205), et d'orge (*Hordeum vulgare*, var. Roho). Les cultures sont conduites en hydroponie, sous un éclairage artificiel ($80 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ PAR, photopériode 16h / 8h). La température varie entre 25 °C le jour et 19 °C la nuit. L'humidité relative est de 50 à 80 %. Les plantes sont récoltées 10, 20, 30, 42 et 55 jours après la germination.

Les résultats obtenus montrent que, quelle que soit la concentration de NaCl dans le milieu, la masse sèche des parties aériennes est toujours supérieure à celle des racines. La comparaison de la biomasse chez les trois céréales montre qu'en l'absence de sel, le triticales produit plus de matière sèche que l'orge et le blé tendre. Cette différence est visible après 30 jours de culture correspondant au stade plein tallage. Chez les trois espèces, l'effet dépressif de NaCl sur la production de biomasse ne commence à se manifester qu'à partir du 20ème jour de culture, impliquant une diminution de l'élongation foliaire et du rythme d'apparition des feuilles, ainsi qu'une réduction de la surface foliaire. Sur sel, le triticales se distingue des deux autres céréales par le maintien de son activité de production photosynthétique jusqu'à la date de la récolte, alors que le blé tendre et l'orge se sont complètement desséchés.

Le suivi des différents stades phénologiques des plantes montre que le sel diminue le tallage. En effet, les plantes cultivées en présence de sel ne présentent qu'une seule talle. Par ailleurs, la présence de NaCl dans le milieu de culture entraîne une précocité du stade floraison-épiaison essentiellement chez le blé. La détermination de la biomasse de l'épi en formation "stade grain laiteux" chez les trois plantes en présence et en absence de NaCl montre que le triticales présente un épi fertile plus long et contenant plus de grains que les deux autres céréales. La masse sèche de l'épi est également plus élevée chez le triticales que chez les deux autres plantes.

Mots clés: salinité, croissance, développement, blé tendre, triticales, orge.

INTRODUCTION

Les zones arides et semi-arides couvrent près des 2/5 des terres arables du monde (Fisher et Turner, 1978), et plus des 3/4 de la superficie de la Tunisie (le centre et le sud). Les ressources en eau y constituent l'un des facteurs limitants de la productivité végétale. Devant les besoins alimentaires d'une population croissante, la valorisation agronomique des zones arides et semi-arides s'est imposée. Le recours à l'irrigation pour limiter les effets du stress hydrique est rendu difficile par le manque d'eau de bonne qualité. L'utilisation des eaux saumâtres conduit par ailleurs à la salinisation progressive des sols. C'est ce qui explique que 30 à 50 % des terres cultivées sont affectées par la salinité des eaux d'irrigation (Mass et Hoffman, 1977). Dans le Maghreb et le Moyen Orient, ces sols salés sont estimés à 15 millions d'hectares (Le Houérou, 1986).

L'accumulation excessive des sels par évapotranspiration en absence des systèmes de drainage appropriés limite la croissance et le développement de la plupart des plantes cultivées. C'est la raison pour laquelle les études s'orientent actuellement vers l'amélioration de la tolérance des plantes à la salinité. Cette nouvelle approche consiste à explorer et à exploiter la variabilité inter et intraspécifique pour la tolérance à la salinité. Or, le succès de cette approche dépend d'une bonne connaissance des mécanismes physiologiques impliqués dans la tolérance au sel.

La plupart des études réalisées en conditions contrôlées de laboratoire ont concerné la croissance de jeunes plantes cultivées, et rares sont celles qui se sont intéressées à l'effet du sel sur l'ensemble du cycle de développement. En effet, les informations sur les flux de nutriments et leur utilisation pour les besoins de la croissance chez les céréales sont déduites d'expériences réalisées généralement à des stades juvéniles. Or, les réponses de croissance et de nutrition peuvent dépendre de la nature des ions dominants dans le milieu, de l'espèce en jeu, de la durée du traitement et des différents stades de développement de la plante. L'intégration de la réponse

de la plante à NaCl au cours de son cycle de développement est donc indispensable pour une meilleure compréhension des mécanismes physiologiques de la tolérance à la salinité et une gestion plus rationnelle des eaux saumâtres en irrigation. Notre étude s'inscrit dans le cadre de cette approche. Elle porte sur le suivi au cours du temps de l'effet de NaCl sur la croissance et le développement de trois espèces céréalières, le blé tendre, l'orge et le triticale. L'intérêt agronomique du triticale, céréale nouvellement introduite en Tunisie, est traduit par le nombre d'études comparatives entre cette espèce et les principales céréales à paille (Fadhlaoui, 1983; Sheppard et al., 1985; Hayek, 1995; Zarkouna et Deghais, 1995).

Conditions de culture

Des grains de blé tendre var. Salambo, de triticale Tc1 205, et d'orge var. Roho sont mis à germer dans des boîtes de Pétri tapissées de papier filtre humecté d'eau distillée. Après 4 jours de germination, les plantules sont repiquées sur des cristallisoirs contenant une solution nutritive de base éventuellement additionnée de NaCl 100 mM.

Les cultures sont conduites sous éclairage artificiel de $80 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ PAR. La température moyenne est de 25 °C le jour et 19 °C la nuit. L'humidité relative varie de 50 à 80 %. La croissance des plantes, évaluée par la production de matière sèche, est suivie en fonction du temps par des récoltes successives réalisées 10, 20, 30, 42, et 55 jours après l'imbibition des grains. Dans le cas des 3 premières récoltes, correspondant à la période végétative, les plantes sont séparées en racines et parties aériennes. Par la suite, pendant la phase de reproduction, les parties aériennes sont séparées en feuilles, tiges, et en épi. A chaque récolte, 3 à 4 plantes sont choisies au hasard pour l'estimation de la surface et la longueur maximale des feuilles.

Résultats:

1. Développement des plantes

Le suivi de développement au cours du temps des trois espèces (blé tendre, triticale et orge) sur milieu hydroponique et sous éclairage artificiel, montre une succession normale des "stades Zadok" (Zadoks et al. 1977) caractéristiques des graminées.

Sur milieu témoin: Au laboratoire, la succession chronologique des différents stades repères du développement est fonction de l'âge, de l'espèce et de l'absence ou la présence de NaCl dans le milieu. La durée moyenne de la phase végétative qui sépare la germination du grain et le stade "tallage actif" est sensiblement identique chez les trois espèces, et s'achève au bout de 30 jours de culture. Le nombre de talles par pied varie d'une plante à l'autre et d'une espèce à une autre. Il est de 1 à 3 chez le blé tendre, et de 2 à 5 chez le l'orge et le triticale.

Au cours de la phase de reproduction, on observe une variation importante de la durée relative des stades de développement. L'épiaison-anthèse est précoce chez le blé et se manifeste vers 42 jours. L'épi est complètement dégagé de la gaine de la dernière feuille. A ce stade et chez le triticale et l'orge, l'épi n'est pas encore complètement dégagé, mais s'appête à émerger de la gaine de la dernière feuille (Fig. 1). Après 55 jours de culture sur milieu hydroponique, les plantes de blé sont déjà au stade grossissement et maturation du grain "stade grain laiteux". Celles de triticale et d'orge ont un léger retard de développement et sont au stade épiaison-floraison (Fig. 2).

La maturation du grain, correspond à l'accumulation de l'amidon dans le grain due surtout à la migration des réserves accumulées dans les feuilles et les tiges jaunissantes mais non complètement desséchées. Au passage du stade "laiteux" au stade "pâteux" et au stade "cassant sous la dent", le grain perd une partie de l'eau qu'il contient. Dans nos conditions de culture, la maturité du grain issu des plantes témoins est obtenue après 108 jours de culture (résultats non montrés).

Sur NaCl 100 mM: La présence de NaCl dans le milieu de culture modifie le développement des plantes. Au cours de la phase végétative, le sel induit un retard dans la mise en place des feuilles et inhibe le processus de tallage. Le blé tendre et le triticale âgés de 30 jours sont formés d'une seule talle. Celles d'orge en présentent parfois 2, mais ces talles ont une durée de vie limitée et finissent par se dessécher. Sur sel, les plantes de blé et d'orge âgées de 42 jours manifestent des symptômes de toxicité par le sel. En effet, leurs feuilles sont jaunâtres et sénescentes, leurs racines sont nécrosées. Les feuilles du triticale, au contraire, sont encore vertes (Fig. 1). A 55 jours, date de la dernière récolte, les plantes de blé et d'orge se dessèchent complètement, alors que celles du triticale, encore vertes, continuent à se développer sur sel (Fig.2).

2. Système racinaire

2.1. Extension en longueur

L'estimation de la longueur du système racinaire par la taille de la racine la plus longue chez les plantes âgées de 30 à 55 jours (Fig.3) montre que celle-ci est maximale après 30 jours d'imbibition et accuse une légère diminution vers 55 jours. La présence de NaCl dans le milieu inhibe l'élongation des racines chez les trois espèces, et réduit la longueur racinaire maximale de 40 à 60 % du témoin (Fig. 3). Cette réduction de la longueur des racines peut s'expliquer par l'absence des racines secondaires chez les plantes cultivées sur milieu salé.

2.2. Production de matière sèche

La figure 4 montre que chez les trois espèces la masse de matière sèche des racines est faible jusqu'à l'âge de 30 jours. Par la suite, elle évolue rapidement chez les plantes témoins. A 55 jours de croissance, la matière sèche racinaire produite atteint un maximum. Elle est 2 à 3 fois plus élevée chez le triticale (325 ± 61 mg), que chez le blé (115 ± 33 mg) et l'orge (129 ± 37 mg). La faible masse du système racinaire des plantes de blé et d'orge s'explique par des racines moins nombreuses et plus grêles. Sur sel, la croissance racinaire augmente faiblement en fonction du temps et reste pratiquement stable, quelque soit l'âge des plantes (Fig. 4).

3. Les parties aériennes

3.1. Surface foliaire

Chez les trois espèces, la surface foliaire totale augmente au cours du développement (Fig.5). En absence de sel, le blé tendre se distingue par une surface foliaire inférieure à celle des deux autres espèces, quel que soit l'âge des plantes étudiées. La présence de sel dans la solution nutritive réduit la surface foliaire du blé tendre et de l'orge dès le 20^{ème} jour d'exposition au sel. Chez le triticale, cet effet inhibiteur de NaCl s'observe dès le début du traitement et s'accroît avec le temps, en raison de l'augmentation importante des surfaces foliaires sur milieu témoin, plus particulièrement pendant la période de fin de tallage.

Après 55 jours de culture sur NaCl, seules les plantes de triticale présentent des feuilles vertes, alors que chez l'orge et le blé, la totalité des feuilles (y compris la feuille drapeau) se dessèche à cause probablement de la toxicité ionique entraînant la senescence des feuilles. La réduction de la surface foliaire s'explique par une augmentation des parties desséchées dans les feuilles, du nombre de feuilles sénescentes, par l'absence du stade tallage chez les plantes stressées; le processus de tallage étant, chez les céréales, un moyen pour mettre en place de nouvelles feuilles à l'aisselle des feuilles âgées.

3.2. Hauteur de la paille

La longueur des tiges, essentiellement la tige principale ou "maître-brin", est intéressante à considérer dans le cas des céréales, car le fourrage intervient classiquement dans l'alimentation animale.

La figure 6 montre que, sur milieu témoin, le triticale se distingue des deux autres céréales par la taille importante de ses tiges. En effet, la hauteur moyenne chez le triticale est égale à 67 cm, soit le double de celle des plantes d'orge (34 cm). Le blé tendre occupe une position intermédiaire avec une hauteur du maître-brin égale à 48 cm en moyenne. La présence de sel dans la solution nutritive diminue considérablement la hauteur des plantes de blé et de triticale, et non celles de l'orge. En effet, sur sel, la hauteur moyenne des plantes des trois espèces est de l'ordre 30 cm. Ce raccourcissement est dû essentiellement à une inhibition de l'élongation des entrenœuds.

3.3. Production de matière sèche

La figure 7 illustre l'évolution de la matière sèche des parties aériennes au cours du développement en absence et en présence de NaCl 100 mM. Sur milieu témoin, la croissance des plantes est faible pendant les 30 premiers jours du cycle. A ce stade, les plantes d'orge présentent la biomasse la plus élevée. Par la suite, on observe une grande activité de synthèse de matière sèche chez les trois espèces, et particulièrement chez le triticale. En effet, le triticale augmente sa biomasse 4 à 8 fois dans l'espace de 25 jours (entre 30 et 55 jours). Chez le blé, l'augmentation est de 3 à 4, tandis que l'orge n'augmente sa biomasse que de 2 à 3 fois dans la même période de croissance. Sur sel, l'augmentation de la biomasse est très faible au cours de la phase de croissance rapide. L'effet dépressif de NaCl sur la production de matière sèche des parties aériennes ne se manifeste qu'à partir du 30^{ème} jour de croissance. L'absence de tallage induit par le sel, à ce stade, entraîne un écart entre la masse de matière sèche des parties aériennes en présence et en absence de sel.

Les figures 8 et 9 représentent la masse de matière sèche des feuilles, tiges et épis du blé tendre, du triticale et de l'orge âgés de 42 et 55 jours, cultivés en absence et présence de NaCl 100 mM. Chez le blé, la fraction allouée aux feuilles sur milieu témoin diminue en fonction du temps au profit de l'épi, tandis que la part de la masse sèche des tiges reste constante. Ceci indique une redistribution de la biomasse des feuilles (sources), vers les organes de reproduction qui sont en pleine activité de croissance (puits). Cette redistribution de matière

sèche semble être inhibée en présence de NaCl, puisque les fractions attribuées à chaque organe sont stables en fonction du temps.

Chez le triticale, l'augmentation de la masse des parties aériennes entre le 42^{ème} et le 55^{ème} jour de culture est due à l'augmentation de la matière sèche des tiges. Ces tiges sont en effet rigides et à gros diamètre comparativement aux deux autres céréales. Cette caractéristique de la paille plaide en faveur de la réputation du triticale en tant que céréale à paille et explique sa résistance à la verse. En présence de NaCl, la fraction de biomasse des feuilles diminue en fonction du temps au profit de l'épi.

Chez l'orge, la répartition de la matière sèche entre les différents organes n'est affectée, ni par l'âge des plantes, ni par la salinité du milieu. La détermination de la biomasse de l'épi en formation chez les trois plantes cultivées en présence et en absence de NaCl montre que le triticale présente un épi fertile plus long et contenant plus de grains que les deux autres céréales. La masse sèche de l'épi en formation "stade grain laiteux" est aussi chez le triticale plus élevée que chez les deux autres plantes aussi bien en présence qu'en absence de sel.

Analyse et discussion

Les céréales sont caractérisées par un rythme de végétation et de fructification annuelle. Le cycle de développement de ces graminées présente une série d'étapes séparées par des stades repères permettant de caractériser deux phases essentielles: une phase végétative pendant laquelle la plante ne différencie que des feuilles et des racines, et une phase reproductrice, dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain. La phase végétative est marquée par un processus propre aux graminées, le "tallage". L'activation des bourgeons axillaires à l'aisselle des feuilles matures donne de nouvelles pousses (talles). L'émission des talles est associée à la formation de nouvelles racines "racines secondaires" qui prennent naissance à la base du plateau de tallage. Ces racines entrent en activité et relayent les racines primaires dans la nutrition minérale de plante. Le stade du plein tallage correspond à une croissance végétative active de la plante et marque la fin du stade végétatif avant la montaison et le gonflement du grain (Zadoks et al. 1977; Gate 1995). Le suivi des stades phénologiques du développement des trois céréales étudiées (blé tendre, triticale et orge) dans des conditions contrôlées de culture hydroponique a montré un déroulement normale de ces stades. Toutefois, la durée relative de chaque stade repère du cycle de développement diffère de celle enregistrée chez les plantes cultivées en plein champ (Hayek 1995, Slama 1996).

Les résultats de l'étude des cinétiques de croissance sur toute la durée du cycle cultural des trois espèces céréalières (blé, orge, triticale) ont révélé que le triticale se distingue des deux autres céréales par une biomasse de racines et de parties aériennes plus importante (Fig 4 et 7). Actuellement, le peu de données relatives à l'évaluation de la production de paille, paramètre qui a son importance en zone d'élevage, apportent la confirmation d'une production en paille chez triticale bien supérieure à celle de l'orge, et même aux variétés de blé les plus productives en paille (Ben Salem 1991).

Chez les céréales, la tolérance à la salinité présente une variabilité importante en fonction de l'espèce et de la variété et du stade de développement (Norlyn et Epstein, 1984; François et al. 1986; El-Mekkaoui, 1992, Mani, 1994; Bounaqba et Zid, 1995). L'analyse de la réponse des trois espèces de céréales (blé tendre, orge, triticale) à la salinité sur la base de la production de biomasse des racines et des parties aériennes (Fig. 4 et 7) montre deux types de réponse à NaCl en fonction de l'âge des plantes. Au cours des trois premières semaines de culture, la réduction de la biomasse totale des plantes par le sel varie de 10 à 20 % du témoin. Par la suite, on note une nouvelle diminution de la matière sèche plus importante que la réduction initiale. C'est pendant cette deuxième phase que les trois espèces se distinguent nettement par l'évolution de la tolérance relative à NaCl au cours du temps.

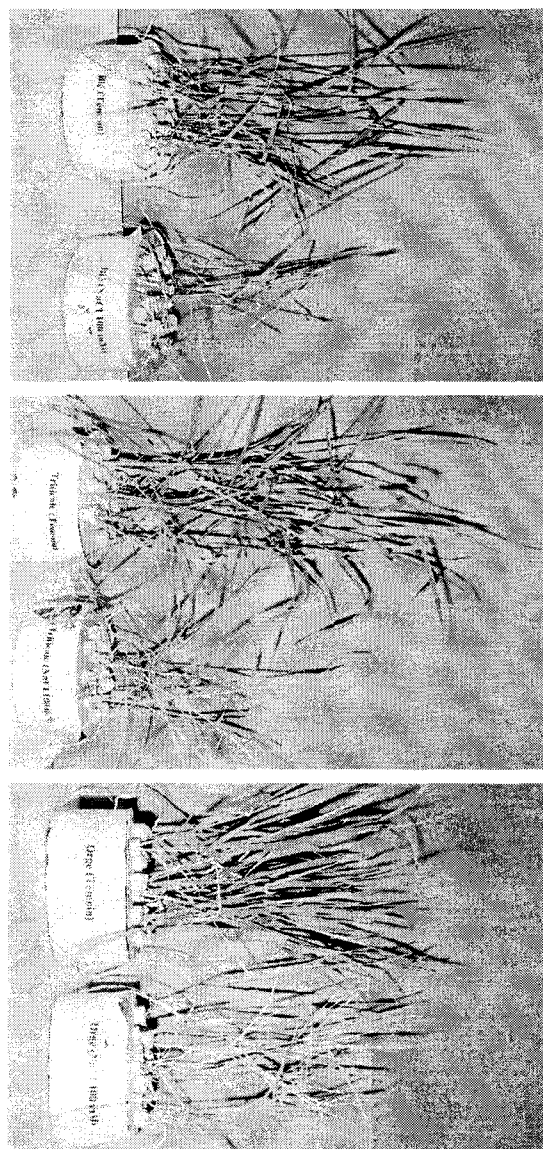
La réponse biphasique à la salinité des trois espèces est similaire à celle observée chez le maïs (Fortmeier et Schubert, 1995), et chez 15 génotypes de blé et d'orge (Munns et al., 1995). Ces résultats viennent à l'appui de l'hypothèse de la réponse des plantes à la salinité en deux phases initialement proposée par Munns et Termaat (1986) et argumentée par Munns (1993). Selon ce modèle, la réduction de la croissance est initialement due à l'effet de sel dans le milieu plus qu'à son effet à l'intérieur dans la plante. L'effet toxique de NaCl apparaît au cours de la deuxième phase par l'endommagement des feuilles âgées. Celles-ci meurent suite à une accumulation ionique rapide dans la paroi cellulaire ou le cytoplasme, après saturation de la vacuole (Munns 1993). Ainsi, la réponse des trois espèces, identique à court terme, mais différente à plus longue durée, traduit une différence entre les trois céréales dans la durée nécessaire à la saturation des vacuoles du mésophylle en sodium conduisant à la sénescence des feuilles.

L'examen des résultats de la production de biomasse en terme de pourcentage de réduction de biomasse sur sel montre que l'orge est plus tolérante que le blé tendre et le triticale. L'orge est en effet réputée pour sa tolérance à la salinité (Maas 1986). Néanmoins, l'examen de la réponse des plantes à NaCl sur la base de leur aspect morphologique (Fig. 2) et la mesure de la surface foliaire (Fig. 5), montre que chez le blé tendre et l'orge, le sel

induit des symptômes de toxicité par le sodium au bout de 40 à 50 jours de culture. Il en résulte une sénescence prématurée des feuilles chez ces deux espèces, contrairement au triticale qui maintient un taux de feuilles vertes matures photosynthétiques nettement plus élevé.

Ceci suggère que le triticale est doté de mécanismes physiologiques qui lui confèrent une protection contre l'envahissement des feuilles par le sel, ce qui nous amène à considérer la tolérance de ces plantes à la salinité en termes de développement et de survie sur NaCl. Selon ce point de vue, le triticale cultivé sur NaCl 100 mM survit plus longtemps que l'orge et le blé tendre et apparaît donc plus tolérant au sel que les deux autres espèces. Par ailleurs, la tolérance au sel aux stades ultérieurs, exprimée habituellement en termes de croissance relative, n'est pas toujours intéressante à considérer seule, car la vitesse de croissance change avec l'âge et le stade de développement (Gorham *et al.* 1984). La notion de survie doit donc entrer en ligne de compte dans l'évaluation de la tolérance des plantes à la salinité. A titre d'exemple, Epstein *et al.* (1980) ont testé 5000 accessions de blé sur la base de la survie des plantules sur l'eau de mer diluée de moitié. Les variétés les plus sensibles meurent 7 semaines après la germination, alors que les plus résistantes survivent plus longtemps, sont plus vigoureuses et certaines d'entre elles arrivent à produire des semences viables.

Figure 1. Développement des plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCI 205), et d'orge (var. Koho) après 42 jours de culture hydroponique en absence et en présence de NaCl 100 mM.



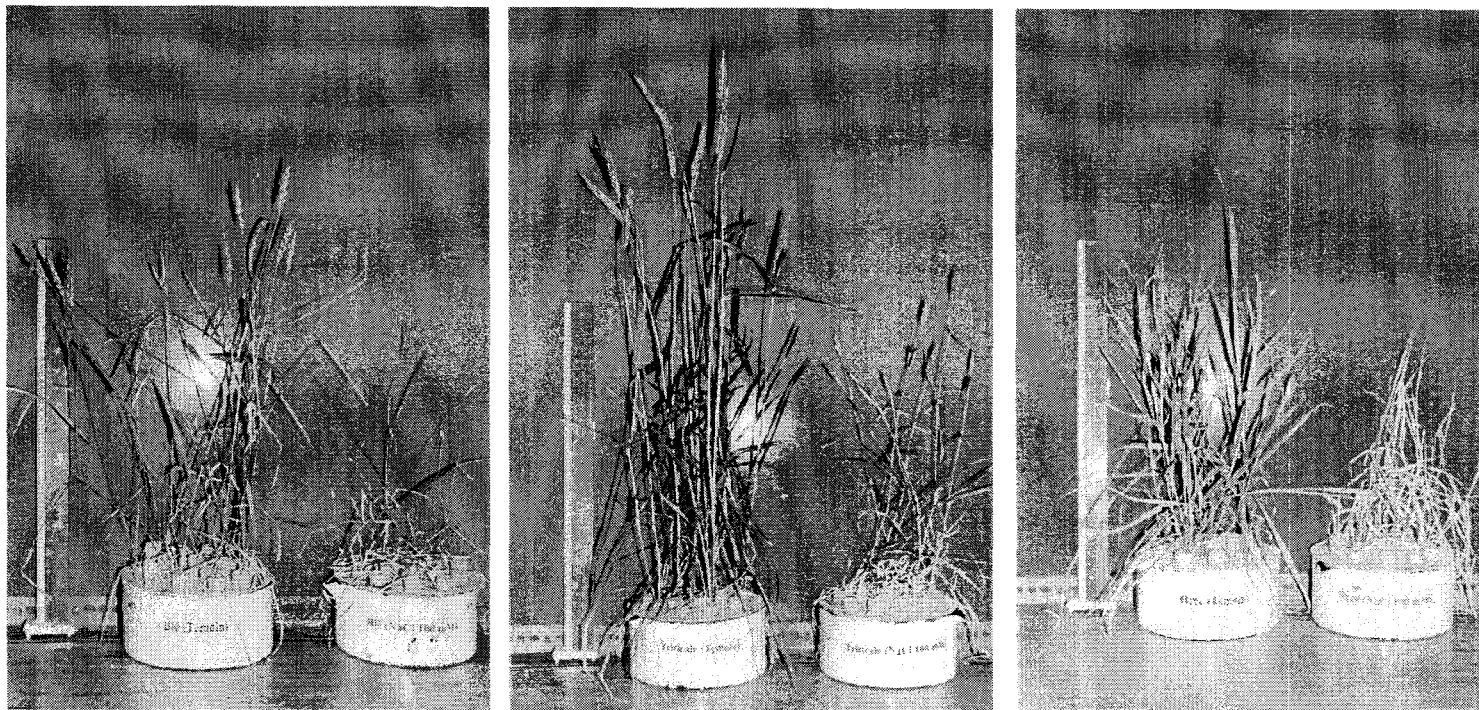


Figure 2. Développement des plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) après 55 jours de culture hydroponique en absence et en présence de NaCl 100 mM.

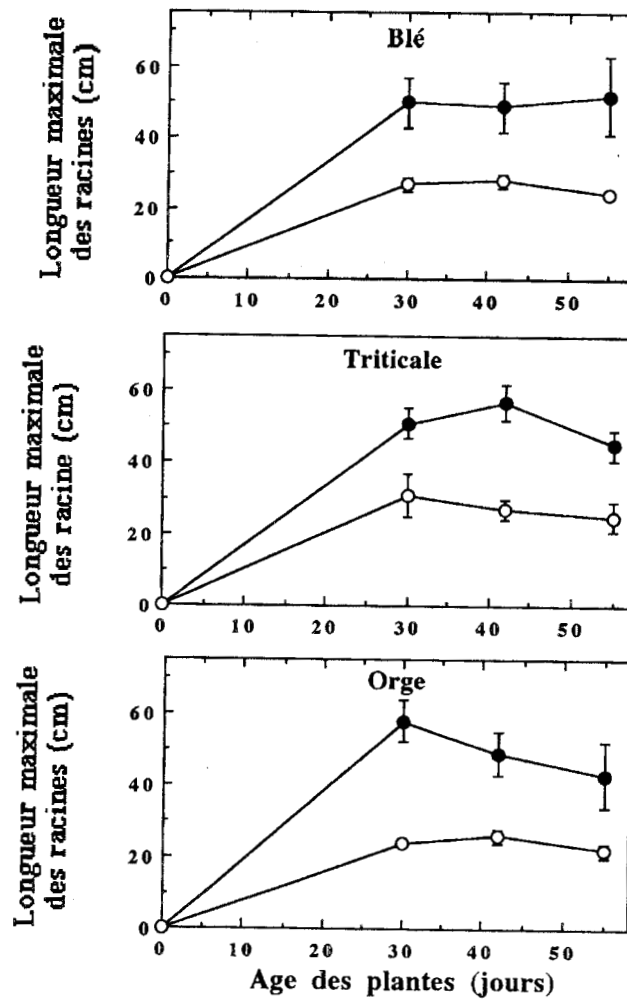


Figure 3. Evolution au cours du temps de la longueur maximale des racines de plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) cultivées en absence (témoin) et en présence de NaCl 100 mM. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 5 %.

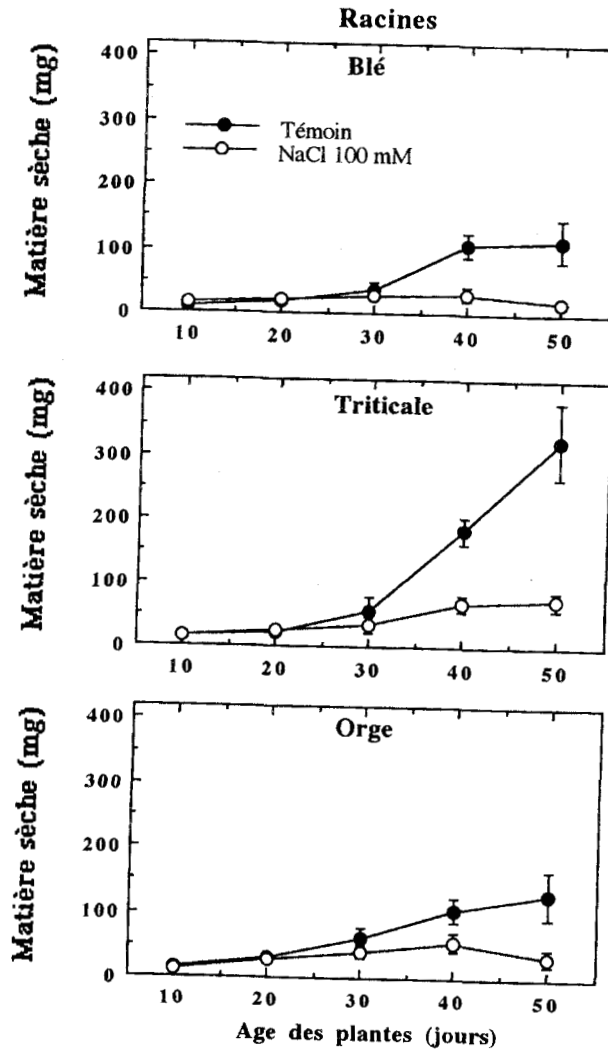


Figure 4. Evolution au cours du temps de la masse de matière sèche des racines de plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) cultivées en absence (témoin) et en présence de NaCl 100 mM. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 5 %.

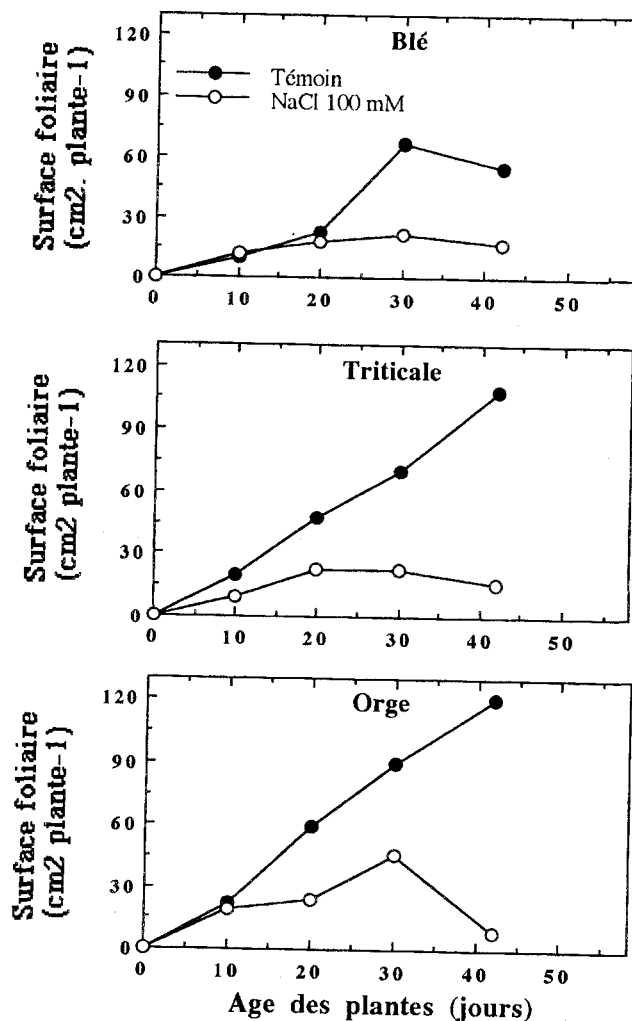


Figure 5. Evolution au cours du temps de la surface totale des feuilles des plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) cultivées en absence (témoin) et en présence de NaCl 100 mM. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles.

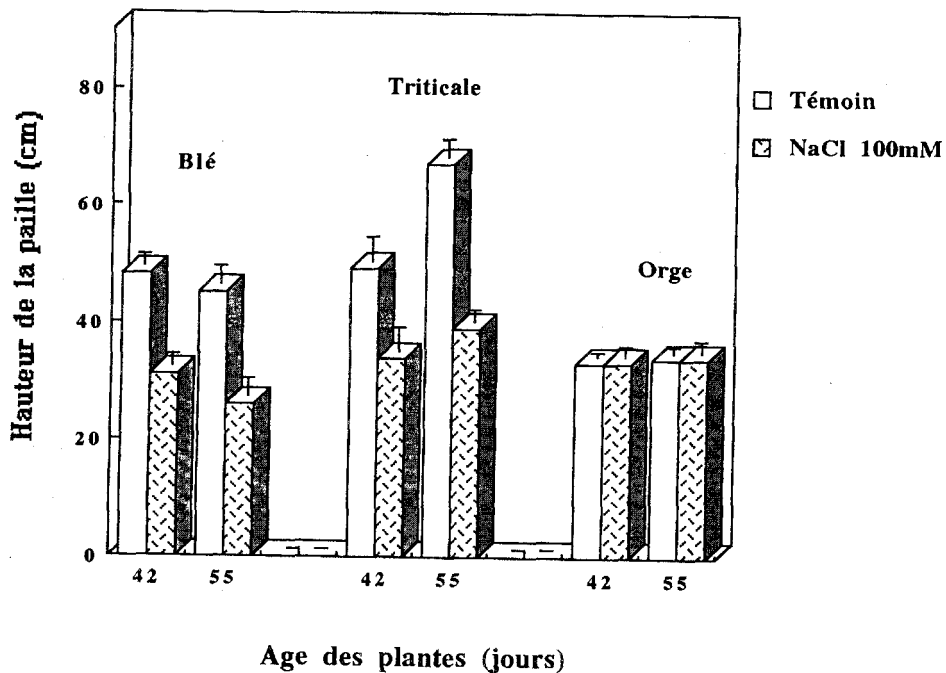


Figure 6. Hauteur de la paille mesurée par la longueur maximale des parties aériennes de plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) après 42 et 55 jours de culture sur milieu témoin ou additionné de NaCl 100 mM. Les valeurs représentent les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 5 %.

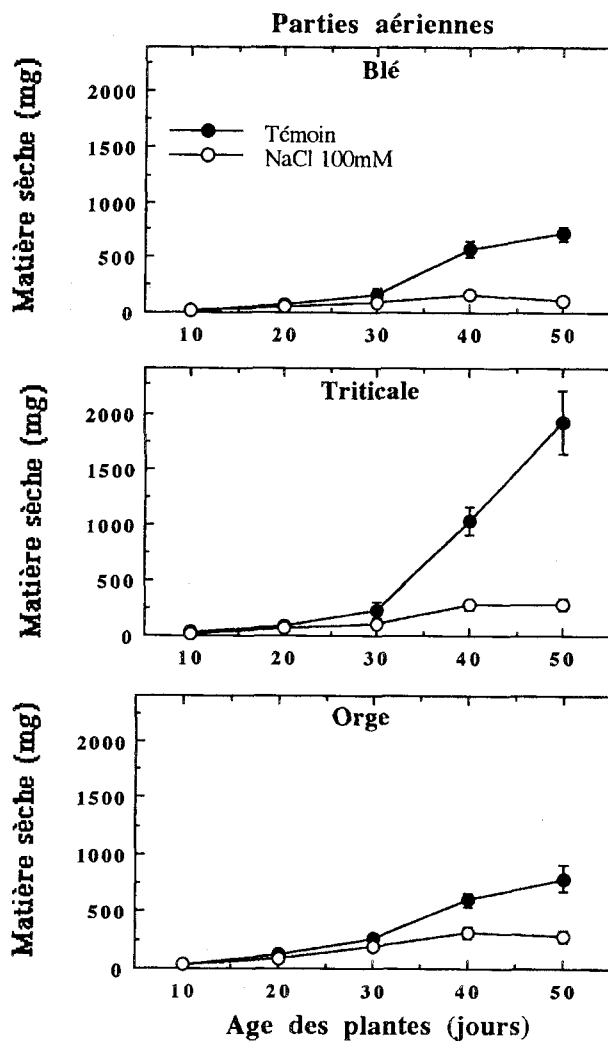


Figure 7. Evolution au cours du temps de la masse de matière sèche des parties aériennes de plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) cultivées en absence (témoin) et en présence de NaCl 100 mM. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 5 %.

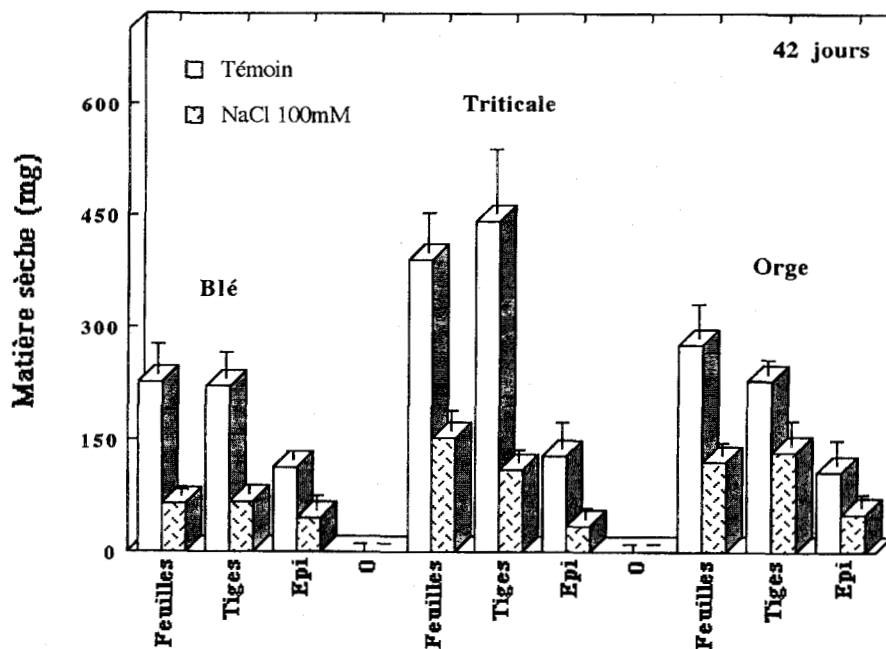


Figure 8. Répartition de la matière sèche (en mg) entre les feuilles, les tiges, et l'épi de plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) après 42 jours de culture sur milieu témoin éventuellement additionné de NaCl 100 mM. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 5 %.

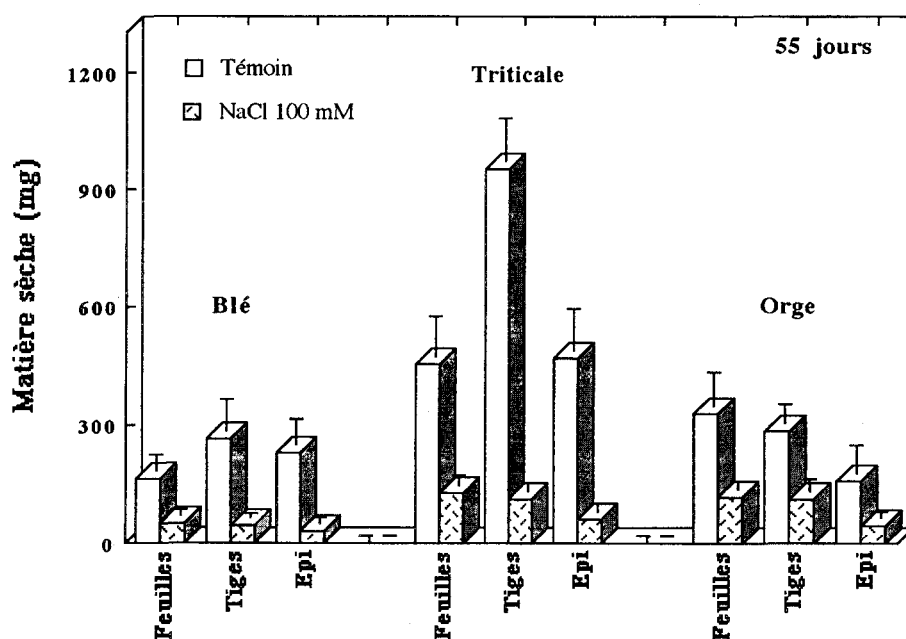


Figure 9. Répartition de la matière sèche (en mg) entre les feuilles, les tiges, et l'épi de plantes de blé tendre (var. Salambo), de triticale (var. TCL 205), et d'orge (var. Roho) après 55 jours de culture sur milieu témoin éventuellement additionné de NaCl 100 mM. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil 5 %.

Conclusion:

L'étude de l'effet de la salinité (NaCl 100 mM) sur la cinétique de croissance au cours du cycle de développement des trois espèces montre deux types de réponse à NaCl en fonction du stade de développement. En effet, pendant le stade végétatif dominé par la formation des feuilles et des racines, les trois espèces présentent des similitudes de réponse au sel. La période de reproduction est marquée par une augmentation de la sensibilité des trois espèces à la salinité. Cette phase est marquée par la diminution de la surface foliaire, suite à l'augmentation des plages nécrotiques et du nombre de feuilles desséchées. La réduction de la surface foliaire en présence de NaCl est plus importante chez le blé et l'orge qui n'arrivent pas à survivre au-delà de 42 jours sur sel, contrairement au triticale qui continue son développement sous contrainte saline.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ben Salem M 1991. Le triticale. Origine, travaux réalisés et perspectives. ACCT, 32p.
- Bounaqba S, Zid E 1995. Effet de la salinité sur la germination, la croissance et la nutrition minérale du triticale (*X. Triticosecale Wittmack*). In "Utilisation des eaux salées et usées en agriculture". Les actes des premières journées scientifiques du C.R.G.R. Nabeul, 27-28 Septembre 1994.
- El-Mekkaoui M 1990. Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* Desf.) et l'orge (*H. vulgare* L.): Recherches de tests précoces de sélection. Thèse Doct. en Sc. Agr. Montpellier, 191p.
- Epstein E, Norly JD, Rush DW, Kingsbury RW, Kelley DB, Cuminghan GA, Wrona AF 1980. Saline culture of crops. A genetic approach. Sc. 210, 399-404.
- Fadhlaoui A 1983. Etude comparative de l'efficacité hydrique chez trois espèces céréalières. B.D, B.T, et triticale. Mémoire de 3ème cycle de spécialisation de l'I.N.A.T.

- Fortmeier R, Shubert S 1995. Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): the role of sodium exclusion. *Plant Cell Environ.* 18, 1041-1047.
- François LE, Maas EV, Donovan TJ, Young VI 1986. Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination on semi-dwarf and durum wheat. *Agr. J.* 78, 1053-1058.
- Gate P. 1995. Ecophysiologie du blé. De la plante à la culture. Tec. et Doc. Lavoisier éd. Londres, Paris et New York. 429 p.
- Gorham J, Mc Donnell, Wyn Jones RG 1984. Salt tolerance in the Triticeae: *Leymus sabulosus*. *J. Exp. Bot.* 35, 1200-1209.
- Hayek T 1995. Etude comparative de l'effet de la sécheresse sur certains paramètres écophysiologiques chez quelques variétés de blé, d'orge et de triticales. *DEA Physiol. Vég. FST, Univ. Tunis II*, 87 p.
- Le Houériou HN 1986. Salt tolerant plants of economic value in the mediterranean basin. *Reclamation and revegetation research* 5, 319-341.
- Maas EV 1986. Salt tolerance of plants. *App. Agric. Res.* 1, 12-26.
- Mani A 1995. Recherche des phases de sensibilité à NaCl chez une variété de blé dur Karim pendant les premiers stades du développement. *DEA Physiol. Vég. FST, Univ. Tunis II*, 81 p.
- Mass CV, Hoffman GJ 1977. Crop Salt tolerance-current assesment. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE* 103, 115-134.
- Munns R 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16, 15-24.
- Munns R, Schachtman DP, Condon AG 1995. The significance of a tow-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 561-9.
- Norlyn JD, Epstein E 1984. Variability in salt tolerance of four triticales lines at germination and emergence. *Crop Sc.* 24, 1090-92.
- Sheppard JA, Keys PJ, Fearon PH 1985. A comparaison of the yield of barley, wheat and triticales. *Queensland Agr. J.* 111(1), 37-40.
- Slama A. 1996. Effet d'une contrainte hydrique édaphique sur le développement du système racinaire de deux variétés de blé dur. *DEA Physiol. Vég. FST, Univ. Tunis II*, 87 p.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF 1977. Un code décimal pour les stades de croissance des céréales. *Phytiatr. Phytopharm.* 26, 129-140.
- Zarkouna MT, deghais M 1995. Etude comparative de variétés de blé, d'orge et de triticales en culture de deuxième paille. *Rev. I.N.A.T.* 10(2), 10p.



SESSION 4 :

PARCOURS ET AMELIORATION PASTORALE

- Recherche et développement en matière de phytoécologie et d'aménagement pastoraux en Tunisie méridionale. Bilan des réalisations et orientations futures (N. Akrimi et M. Neffati)..... 247
- Etude de la dynamique de la végétation en milieu saharien (A. Ouled Belgacem et M. Neffati)..... 252
- La forêt steppe à *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* var. *raddiana* de la Tunisie aride : dynamique et évolution (M.S. Zaafouri, N. Akrimi, M. Zouaghi et H. Jeder)..... 258
- Etude des caractéristiques germinatives des semences de quelques légumineuses spontanées de la Tunisie steppique (M. Neffati et N. Akrimi)..... 272
- Etude de la diversité biologique des populations d'*Artemisia herba-alba* Asso. en Tunisie présaharienne (A. Ferchichi)..... 288
- Sélection clonale de *Stipa lagascae* R. & Sch. : une graminée pastorale pérenne des zones arides (M. Visser, T. Behaghe, M. Neffati, M. Loumerem et A. Mcharek)..... 296
- Réponse hydrique vis-à-vis de la sécheresse d'*Acacia tortilis* ssp. *raddiana* en milieu aride de Tunisie (L. Abdallah, N. Akrimi, M. Chaeib et M. S. Zaafouri)..... 311
- Effets du préconditionnement à la sécheresse sur la capacité d'implantation d'*Acacia cyanophylla* Lindl. en zones arides (A. Albouchi et M. H. El Aouni)..... 318
- Comment raisonner et gérer les techniques de coupe à des fins pastorales dans les peuplements d'*Acacia cyanophylla* Lindl. en zones arides ? (Y. Ammari, Z. Abdennebi, M. Ksontini, M. Quarrou et M.N. Rejeb)..... 327
- Effet d'un déficit hydrique sur la symbiose tripartite entre *Acacia cyanophylla* Lindl. *Rhizobium* et un champignon endomycorhizien (*Glomus mosseae*) (M. Abassi, A. Dahman, H. Nasr, M. Ksontini et M.N. Rejeb)..... 335

RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT EN MATIERE DE PHYTOECOLOGIE ET D'AMENAGEMENTS PASTORAUX EN TUNISIE MERIDIONALE : BILAN DES REALISATIONS ET ORIENTATIONS FUTURES

AKRIMI N.* & NEFFATI M.**

* Institut National Agronomique 43 Av.

Charles Nicolle-Tunis

** Institut des Régions Arides 4119 Médenine-Tunisie

RESUME

Le présent travail tente de faire la synthèse des travaux consacrés à l'étude du couvert végétal naturel de la Tunisie méridionale des points de vue phytoécologique, phytosociologique et pastoral.

Les principales études relatives aux causes de dégradation de ce couvert et aux techniques de sa régénération ainsi qu'aux orientations futures des programmes de recherches visant la sauvegarde de ce patrimoine et sa réhabilitation sont également rappelées.

Mots clés : végétation naturelle ; amélioration pastorale ; zone aride ; programme de recherche.

SUMMARY

The present paper tries to make a synthesis of the works done concerning the study of the natural vegetal cover, in meridional Tunisia, in phytoecological, phytosociological and pastoral view point.

The main studies related to the causes of the degradation of this cover, to the techniques of its regeneration and to future orientation of the researches programs aiming the maintenance of this patrimony and its rehabilitation are reviewed.

INTRODUCTION

Exceptés les restes de forêts primitives à base de *Pinus halepensis* et de *Juniperus phoenicea* colonisant les hauts reliefs les plus arrosés de la partie occidentale, les reliques d'*Acacia raddiana* et de *Pistacia atlantica* dans les reliefs de la partie nord orientale et les boisements extrêmement clairs du Grand Erg Oriental, connus sous le nom de pseudo-sylves (LE HOUEROU, 1959) la végétation naturelle actuelle de la Tunisie aride présente partout ailleurs une physionomie steppique.

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de cette végétation. C'est ainsi que LE FLOCH (1992) a pu recenser plus de 2000 références se rapportant aux thèmes: flore, végétation et écologie végétale. Les premières investigations relatives à cette végétation ont été consacrées principalement aux inventaires floristiques et aux études phytoécologiques et phytosociologiques. La recherche et l'expérimentation sur l'amélioration pastorale s'est développée surtout pendant les années 60 et au début des années 70 dans le cadre de divers projets d'aide bilatérale et multilatérale entrepris en collaboration avec les différents établissements de recherche et d'enseignement (IRA, INRAT, INAT, INRF...) et les services de développement (OEP, DGF...)

Loin d'être exhaustif, le présent travail tente de faire la synthèse des principaux travaux relatifs aux thèmes précités.

Synthèse des principaux travaux de recherche:

Les études globales touchant à l'ensemble de la végétation de la Tunisie steppique ont été consacrées aux aspects floristiques (CUENOD, 1954; POTTIER-ALAPETITE; 1979-1981; NABLI, 1989-1996), aux aspects phytosociologiques et phytoécologiques (LONG, 1954; LE HOUEROU, 1959-1969; EL HAMROUNI, 1987-1992) et aux aspects phytogéographiques (LE HOUEROU, 1995). Ces études ont permis d'établir des références pour la flore tunisienne et de dresser la carte phytoécologique de la Tunisie centrale et méridionale. Elles ont également servi de base pour de nombreux travaux portant sur des aspects particuliers ou spécifiques visant une caractérisation plus précise de cette flore. Les études floristiques sont actuellement complétées par des investigations caryologiques (FERCHICHI en cours) qui ont touché près de 130 taxons et qui ont mis en évidence de nouvelles races chromosomiques chez des espèces comme *Artemisia herba-alba*, *Moricandia arvensis*

et *Cenchrus ciliaris*. NOVIKOFF (1961), BOUHKRIS (1973) et ZEMZEMI, Ex SASSI (1978) ont étudié la végétation halophile et gypsophile. De son côté LE FLOC'H (1983) s'est intéressé à l'étude ethnobotanique de 467 taxons appartenant à la flore tunisienne. Parmi les études relatives à la dynamique des peuplements végétaux, signalons les travaux de TELAHIGUE (1981); TELAHIGUE et al. (1987) sur la vitesse de cicatrisation des friches post-culturelles. Il faut également retenir les travaux de NOVIKOFF (1977) et de D'HERBES (1982) sur le stock de graines dans le sol ainsi que les recherches sur le comportement allélopathique d'*Artemisia campestris* dans la Jeffara NEFFATI (1984); ZOUAGHI et al. (1982).

Ces études ont permis de déterminer une clef de datation des friches post-culturelles en fonction du temps et du type de milieu et de détecter les stades les plus performants, de ces friches, sur le plan pastoral. L'effet télétoxique de certaines espèces envahissantes (*Artemisia campestris*) a été également démontré. L'étude de la dynamique de végétation en relation avec la mobilité de sable, menée par BENDALI (1987), a permis de déterminer les critères de morphologie aérienne et souterraine du sable. L'étude de la dynamique et de la production de huit systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne (FLORET et PONTANIER, 1982) a permis de quantifier l'effet des principaux facteurs de dégradation de la végétation naturelle et de mettre en évidence l'efficacité de certaines techniques pour la restauration des écosystèmes dégradés (mise en défens, rotation, réactivation du fonctionnement hydrique du sol...). Elle a également permis de déterminer la production primaire de ces systèmes, qui a été évaluée entre 150 et 2250 Kg MS/ha/an. AKRIMI et al. (1989) ont, pour la première fois, étudié la biomasse souterraine des parcours naturels de la Tunisie centrale qui a été évaluée entre 4 et 5t/ha.

Les études relatives à la germination et à l'installation de certaines espèces pastorales aussi bien *in-situ* que dans des conditions contrôlées (MONROY ATA, 1989; NEFFATI et al. 1993; FERCHICHI et NEFFATI, 1992) ont permis de déterminer les exigences germinatives de ces espèces et de mettre en évidence les principaux facteurs susceptibles d'influencer les chances de succès de leur installation suite au resemis.

L'étude des relations entre les animaux domestiques et la végétation naturelle WAECHTER (1982) a permis de définir l'appétabilité des différentes espèces pastorales sur la base des caractéristiques intrinsèques des plantes elles-mêmes, de la nature du consommateur et du choix floristique offert par le parcours. EL HAMROUNI et SARSON (1974) et NEFZAOUI et CHERMITI (1989) ont déterminé la valeur alimentaire de plusieurs plantes fourragères et pastorales dont certaines sont assez représentées en Tunisie arides.

Une caractérisation biologique de 24 espèces pastorales pérennes autochtones a été effectuée par NEFFATI (1994). Elle a concerné la morphologie des ces espèces et le déroulement de leurs cycles biologiques, la capacité reproductive, la morphologie des semences, leurs mécanismes de dissémination, leurs propriétés germinatives et leurs longévités. OURCIVAL (1992) et CHAIEB (1993) se sont intéressés au comportement de quelques espèces végétales de la zone aride en relation avec les réserves hydriques du sol. Les arbustes fourragers les plus couramment utilisés en zone aride tunisienne ont été décrits par AKRIMI et ZAAFOURI (1990) et les conditions optimales de leur installation ont été étudiées par ZAAFOURI (1993).

Plusieurs espèces végétales autochtones de la Tunisie aride ont fait l'objet de travaux particuliers et notamment l'alfa, *Stipa tenacissima* qui a été étudié par GADDES (1987), REJEB (1980) et GHRAB (1981); *Plantago albicans* qui a été étudié par HENCHI (1987); *Artemisia campestris* qui a été étudié par NEFFATI (1984) et *Periploca laevigata* qui a été étudié par FERCHICHI (1990). D'autres espèces sont en cours d'étude (*Stipa lagascae*, *Cenchrus ciliaris*, *Argyrobolium uniflorum*, *Lotus creticus*, *Artemisia herba-alba*..)

Des analyses de la diversité génétique des espèces des genres *Medicago*, *Argyrobolium* et *Hedysarum* ont été effectuées par divers auteurs et en particulier sur les plans: morphologie et biochimie (BAATOUT, 1980; BOUSSAID, 1987; CHATTI, 1987), biologie florale (BAATOUT, 1980), déterminisme de la pigmentation florale (CHRIKI, 1986) et morphogénèse *in-vitro* (BOUSSAID, 1987; MAAREF, 1989).

Programme de recherche en matière de pastoralisme actuellement mené en Tunisie aride et orientations futures.

Depuis 1985, les recherches menées en matière de pastoralisme en zone aride de Tunisie ont pour principal objectif la sauvegarde et la valorisation des plantes spontanées à usages multiples en zones arides et désertiques.

Plusieurs activités sont développées dans le cadre de ce programme:

- prospection, collecte et mise en collection des plantes spontanées susceptibles de présenter un intérêt économique;
- entretien et gestion d'une banque de gènes destinée à la conservation *ex-situ* des espèces les plus menacées;
- caractérisation biologique et détermination des potentialités productives et adaptatives des espèces de premier choix pour la réhabilitation des milieux dégradés;
- étude et quantification de l'ampleur de la diversité génétique chez certaines espèces polymorphes.

- extraction des huiles essentielles et des principes actifs de certaines espèces présentant un intérêt particulier (médicinal, aromatique, espèces refermant des substances antinutritionnelles, inhibitrices ou toxiques).

Notons cependant, que ces recherches ne sont qu'à leur début et que, compte tenu des objectifs visés par ce programme, il y a encore beaucoup à faire en vue de combler certaines lacunes et de cerner les problèmes tant au niveau fondamental et méthodologique qu'au niveau de la mise en application des acquis techniques à l'échelle de l'exploitation. Les recherches en matière de pastoralisme devront, se poursuivre selon plusieurs voies.

Les travaux de collecte et de caractérisation devront continuer jusqu'à la mise en collection, la conservation et l'évaluation de l'ensemble des plantes spontanées susceptibles de présenter un intérêt économique immédiat ou potentiel.

L'amélioration de la capacité de stockage à long terme du matériel végétal, la mise en place d'une banque de données et l'amélioration du système de gestion des différentes collections et procédures sont aussi à prévoir. Le développement d'un programme d'amélioration génétique visant la sélection et/ou la création de génotypes performants doit être précédé par l'analyse de la diversité génétique des espèces les plus prometteuses et par la quantification de son ampleur sous divers aspects (morphologique, caryologique, biochimique et moléculaire).

Le succès de la restauration du couvert végétal dans les parcours dégradés passe inéluctablement par la réussite de la domestication des plantes spontanées qui est par ailleurs tributaire des solutions qui devront être apportées aux problèmes posés par la manipulation de leurs semences au cours des différentes étapes (collecte, battage, nettoyage, stockage, semis).

La manipulation mécanique de ces semences, de différentes tailles, formes et densités, exige le développement d'un matériel adapté pour résoudre les problèmes techniques rencontrés au cours des différentes opérations.

Conclusion :

A l'issue de ces nombreuses recherches et expérimentations en matière de pastoralisme ayant abouti, au demeurant, à des résultats scientifiques et techniques forts intéressants il s'avère nécessaire d'entreprendre de véritables programmes de validation de ces résultats et de ceux relatifs à la conduite de l'élevage, dans les différentes conditions sociales, foncières, économiques et écologiques de la Tunisie méridionale et par conséquent dans des exploitations privées représentatives des différents milieux et de leurs contraintes. De tels programmes de validation des résultats (dits aussi, en d'autres termes, recherches d'accompagnement) nécessiteraient la constitution d'équipes pluridisciplinaires et le développement d'approches méthodologiques appropriées.)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akrimi N. et Zaafour M.S. (1990): Etude des arbustes fourragers les plus couramment utilisés dans la mise en valeur des régions arides tunisiennes. Rev. Des Rég. Arides. 1/90: 4-83
- Akrimi N.; Steen E.; MÖcharek A. et Jellali A. (1989) : Etude des biomasse souterraines et aériennes développées par certaines espèces forestières, fruitières et fourragères cultivées en Tunisie centrale. Ecologia Mediterranea XV (3/4) 14P.
- Baatout H. (1980) : Analyse du polymorphisme dans le complexe *Hedysarum spinosissimum*. Bull. Soc. Bot. Fr., 129, lettres, bot. 155-165.
- Bendali F. (1987) : Dynamique de la végétation et mobilité du sable en Jeffara tunisienne. Thèse de Doctorat USTL. Montpellier France, 243 p.
- Boukhris M. (1973) : Recherches écologiques et phytosociologiques sur les plantes gypsiques de Tunisie. Thèse Doc.es-Sciences Nat. USTL, Acad. de Montpellier, 215 p.
- Boussaad. D. (1987): Variabilité et morphogénèse chez *Hedysarum carnosum* Desf Comparaison entre plantes néoformées en culture "in-vitro" et individus normalement issus de graines. Thèse Doctorat d'Etat. Fac. Sci. St. Jérôme (MARSEILLE), 175p.
- Chaieb M. (1993) : Réponse écologique de trois graminées pérennes soumises à des conditions écologiques contrastées en milieu aride de Tunisie (étude en conditions naturelles semi-contrôlées et contrôlées). Thèse Doct. ès-Sciences. Faculté des Sciences de Sfax, 238 p.
- Chattis S. (1987) : Analyse de la diversité génétique basée sur les caractères morphologiques et le polymorphisme enzymatique de l'*H. coronarium* et de l'*H. carnosum*. Relations phylogénétiques avec l'*H. spinosissimum*. Thèse de 3^e cycle, Fac. Sci. Tunis, 126p.
- Chriki A. (1986) : L'hérédité des anthocyanes florales chez *Hedysarum coronarium* L., *H. carnosum* Desf. Et *H. capitatum* Desf. Ash. Et Gr. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Pau et des Pays de l'Adour, 229p.
- Cuenod A. (1954) : Flore analytique et synoptique de la Tunisie : Cryptogames vasculaires, Gymnospermes et monocotylédones. Imprimerie S.E.F.A.N - Tunis, 287 p.

- D'herbes, J.M.(1982) : Relation entre stock de graines, germination et état de surface du sol dans les friches post-culturelles en région aride (Médenine - Tunisie). Rapport comité L.A.T., 48 p.
- El Hamrouni A. (1992) : Végétation forestière et préforestière de la Tunisie. Typologie et éléments pour la gestion. Thèse Docteur es-Sciences. 235 p + annexes. Fac. Sci. et Tech. Saint Jérôme - Marseille France.
- El Hamrouni A. & Sarson M. (1974) : Valeur alimentaire de certaines plantes spontanées ou introduites en Tunisie. Note de Recherche n° 2. Inst. Nat. de Rech. For. Tunis;
- El Hamrouni A. (1978) : Etude phytoécologique et problèmes d'utilisation et d'aménagement dans les forêts de Pin d'Alep de la région de Kasserine (Tunisie centrale). Thèse Doct. Ing. Uni. Aix-Marseille III, Fac. Sciences et Tech. St Jérôme, 110 p.
- Ferchichi A. & Neffati M. (1992) : Essai de resemis d'espèces pastorales en Tunisie centrale. Ecologia Mediterranea, XVIII : 25-30.
- Ferchichi A. (1990) : *Periploca laevigata* Ait. ; écologie, et aptitudes germinatives. D.E.A Ecol. Végét. Univ. Tunis II, 108 p.
- Floret C. & Pontanier R. (1982) : L'aridité en Tunisie présaharienne. Trav. et doc. ORSTOM, Paris n° 150, 544 p.
- Gaddes N. (1978) : Etudes des relations végétation-milieu et effet biologique de la mise en défens notamment sur l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans le bassin versant de l'Oued Gabès. Thèse Doct. spécialité Ecologie, USTL Montpellier, 129 p.
- Ghrab S.(1981) : Etude de la variabilité écophénologique de l'alfa en Tunisie centrale Application en vue de la sauvegarde et de l'amélioration des nappes alfatières. Thèse Doct. Ing. UDES Aix-Marseille III, 135 p.
- Henchi B. (1987) : Effet des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de *Plantago albicans* L.. Thèse Docteur ès-Sciences. Univ. Tunis, 360 p.
- Le Floc'h E. (1983) : Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. Publ. Sci. tunisiennes, Programme "Flore et végétation tunisiennes". Imprimerie Officielle de la République Tunisienne : 402 p.
- Le Floc'h E. (1992) : Bibliographie flore-végétation-écologie. Annales de l'Inst. Nat. de la Rech. Agr. de Tunisie. Vol 65, 1992. Numéro spécial. 179 p.
- Le Houerou H.N. (1959) : Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. 1ère partie : les milieux naturels et la végétation, 281 p. 2ème partie : la flore, . Inst. Rech. Sah. Alger. 277 p.
- Le Houerou H.N. (1969) : La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Libye). Annales de l'INRAT Tunisie, Vol 42 Fasc. 5, 617 p.
- Le Houerou H.N. (1995) : Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. OPTIONS méditerranéennes. Série B: Etude et recherche Numéro 10, 396p
- Long G. (1954) : Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale. Annales du SBAT de Tunisie. Vol 27, Imprimerie la rapide, 388 p.
- Maaref S. (1989) : Obtention de plantes néoformées en culture (in)vito" chez *Hedysarum spinosissum* L. Ssp. *Eu-spinosissum* briq. Et ssp. *Capitatum* (Desf.) Asch et Gr. Mémoire de DEA Fac. Sci. Tunis.
- Monroy-Ata A. (1989) : Installation de plantes pérennes de la zone aride soumise à des conditions hydriques contrôlées et à des coupes. Thèse de Doctorat USTL Montpellier France, 166 pages.
- Nabli M.A. (1989) : Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisiennes. Eléments de botanique et de phytoécologie. Flore tunisienne 4 à 6. M.A.B - Faculté des Sciences de Tunis Laboratoire de botanique fondamentale et appliquée. 247 p.
- Neffati, M (1994) : Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces végétales nord-africaines. Implications pour l'amélioration pastorale. Thèse de doctorat (Ph.D.) en Sciences Biologique Appliquées, Section Agronomie. Univ. de Gent. Belgique. 264 p.+Annexes.
- Neffati, M. (1984) : Comportement allélopathique d'*Artemisia campestris* dans les parcours de la Jeffara tunisienne. Mémoire de fin d'Etudes du cycle de spécialisation de l'Inst. Nat. Agr. de Tunis : 113 p.
- Neffati, M. ; Akrimi, N. et Le Floc'h, E.(1993a) : L'étude des conditions de germination des espèces : une nécessité pour le succès des travaux de réhabilitaion. Ecologia Mediterranea XIX : 1/2, 39-47.
- Nefzaoui A. et Chermiti A. (1989) : Contribution à l'étude de la valeur alimentaire des arbustes fourragers. Séminaire National sur l'amélioration pastorale. Kairouan, 24-26 avril 1989, 17p.

- Novikoff G. (1961) : Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile de la Tunisie. Ann. de l'I.N.R.A.T Tunis, Vol. 34 - 339 p.
- Novikoff G. (1977) : Demography of plant species in "Tunisian presaharian project". Progress report n°6, pp 105-111.
- Oucival J.M. (1992) : Réponses de deux chaméphytes de la Tunisie présaharienne à différentes contraintes et perturbations. Thèse Doc. USTL, Montpellier, 167 p.
- Pottier-Alapetite G. (1979/81) : Flore de la Tunisie. Angiospermes -Dicotylédones : apétales -dialypétales -gamopétales. Première et deuxième partie. Ouvrage publié par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Sc. et le Ministère de l'Agriculture - Tunisie, 1190 p.
- Rejeb M.N. (1980) : Contribution à l'étude de la matière organique dans les sols des nappes alfatières en Tunisie centrale. La minéralisation de l'azote et du carbone. Thèse spécialité Ecologie Végétale. Fac. Sci. Tunis, 50 p + graphiques et tableaux.
- Telahigue T. (1981) : Contribution à l'étude des déséquilibres écologiques et agricoles en zone aride tunisienne. Le cas des friches post-culturelles dans la région de Bir Lahmar. Thèse Doc Ing. Ecol. USTL Montpellier, 159 p.
- Telahigue T., Floret C., Le Floc'h E. (1987) : Succession post-culturelle en zone aride de Tunisie. Acta oecologica/Oecologia Plantarum, Vol. 8 (22) n°1, p 45-58.
- Waechter P. (1982) : Etude des relations entre les animaux domestiques et la végétation dans les steppes du sud de la Tunisie. Implications pastorales. Thèse Doct. Ing., Univ. Sc. Tech. Languedoc, Montpellier, 293 p.
- Zaafouri M.S. (1993) : Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne. Thèse de Doctorat. Univ. de Droit d'Econ. et des Scien. Aix-Marseille III 200 pages + annexes.
- Zemzemi J. (1987) : Contribution à l'étude phytoécologique des milieux salés et gypseux de Gabès et l'El Hamma, DEA d'Ecologie USTL. Acad. De Montpellier. France. 41p + annexes.
- Zouaghi M., Neffati M. Et Rekik M. (1982) : Influence d'*Artemisia campestris* L. sur la germination et la croissance d'autres espèces pastorales ou cultivées du sud tunisien. Journées scientifiques des régions arides. Séminaire national sur l'évaluation des acquis scientifiques et techniques pour le développement agricole tenu à Médenine du 22 février au 1 mars 1982 sous l'égide du MAB (UNESCO).

ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE LA VEGETATION EN MILIEU SAHARIEN

Azaïez OULED BELGACEM et Mohamed NEFFATI
Institut des Régions Arides 4119 Médenine-Tunisie

RESUME

Le développement d'une stratégie d'aménagement d'un parcour donné nécessite une bonne connaissance de la dynamique de sa végétation en terme de recouvrement, de composition floristique, de densité et de production.

Les études de la dynamique du couvert végétal en milieu saharien sont, cependant, très rare voire inexistantes. Dans cet article, nous présentons les résultats d'une étude qui a été consacrée au suivi de la dynamique du couvert végétal dans la région de Nefzaoua (sud-ouest tunisien).

Quatre sites, situés en milieu désertique tout au long d'une région, présentant un gradient d'aridité, allant du Chareb (au nord du Chott El Jerid) jusqu'à El Faouar (au sud du Chott), ont fait l'objet d'une évaluation de leur couvert végétal aussi bien dans des parcelles mises en défens depuis dix ans que dans des parcelles non protégées.

Le recouvrement, la composition floristique, la densité, la biomasse ainsi que la hauteur moyenne de la végétation aussi bien au niveau des parcelles protégées que dans les parcelles non protégées ont été alors déterminés.

Les résultats de cette étude montrent que l'effet bénéfique de la mise en défens diminue en allant du nord vers le sud. C'est ainsi que cette technique, qui a engendré une augmentation du taux de recouvrement de 30 % au niveau de la station la moins aride (celle du Chareb), n'a eu aucun effet sur le couvert végétal de la station la plus septentrionale (celle d'El-Faouar).

Mots clés : dynamique végétale, recouvrement, composition floristique, densité, biomasse, milieu saharien.

SUMMARY

The development of a management strategy of a given rangeland needs good knowledge of its vegetation dynamics in terms of cover, species composition, density and production.

The studies of the plant cover in Saharan environment are rare. In this paper, we present the results of a study assessing the dynamics of the plant cover in the Nefzaoua region (south-west of Tunisia).

Four sites, located in a desert environment along a region, presenting an aridity gradient, going from Chareb (north of Chott El-Jerid) till El-Faouar (in the south of the Chott), were subject to an evaluation of their plant cover both in fenced areas since ten years and in unprotected areas.

Cover, species composition, density and mean height of the vegetation in both areas were determined.

The results of the study show that the benefic effect of protection decreases from the north to the south. In fact, such technique, which led to an increase of 30 % of the plant cover in the less arid area (that of Chareb) did not have any effect on plant cover of the more septentrional area (that of El-Faouar).

INTRODUCTION

En Tunisie, la désertification devient, depuis quelques décennies, le principal problème environnemental qui ne cesse de s'accroître puisque 25% de la superficie du territoire est très affectée (comportant une partie du Grand Erg Oriental) et aux environs de 39% est gravement menacée (DGF, 1995).

Ce phénomène est la conséquence d'un déséquilibre écologique résultant, à son tour, d'une mauvaise gestion et une longue histoire d'exploitation intensive des ressources naturelles (LE HOUEROU, 1984) conjuguée à une aridité climatique et édaphique (FLORET et PONTANIER, 1982).

Le milieu saharien est caractérisé par des écosystèmes très fragiles avec des ressources naturelles précaires. Après perturbation, le retour de ces écosystèmes à leur état initial est très lent (AYYAD ET EL-KADI, 1982).

Les études de la dynamique du couvert végétal en milieu saharien sont, cependant, très rares voire inexistantes. La bonne connaissance de la dynamique de la végétation en terme de recouvrement, de composition floristique, de densité et de production est, pourtant, indispensable pour le développement d'une stratégie d'aménagement de ces écosystèmes. Dans cet article nous présentons les résultats d'une étude qui a été consacrée au suivi de la dynamique du couvert végétal dans la région de Kébili (sud-ouest tunisien).

Matériels et méthodes:

Région d'étude

la région de Kébili (figure 1) appartient à l'étage bioclimatique méditerranéen saharien, sous étage supérieur avec un régime pluviométrique très irrégulier fluctuant autour d'une moyenne annuelle de 89.4mm, une température moyenne de 20.9°C, allant d'une valeur minimale 8.62°C en hivers (Janvier) à une valeur maximale de 42.2°C en été (Août) et des jours venteux très fréquents soit 160 dont 120 jours sont de vents de sables (en printemps) et 40 jours de sirocco en été (SARFATTI, 1988).

Cette région occupe une superficie totale de 2208340 ha dont une grande partie (1884656 ha) est couverte par le Sahara, les Chotts et Sebkhass. Les oasis occupent 13000 ha et les terres de parcours couvrent 230000 ha (OULED BELGACEM et ZAAFOURI, 1996).

Stations expérimentales

Quatre sites, situés tout au long d'une toposéquence présentant un gradient d'aridité (figure 1), ont fait l'objet d'une évaluation de leur couvert végétal après dix ans (1986-1996) aussi bien dans des parcelles mises en défens que dans des parcelles non protégées:

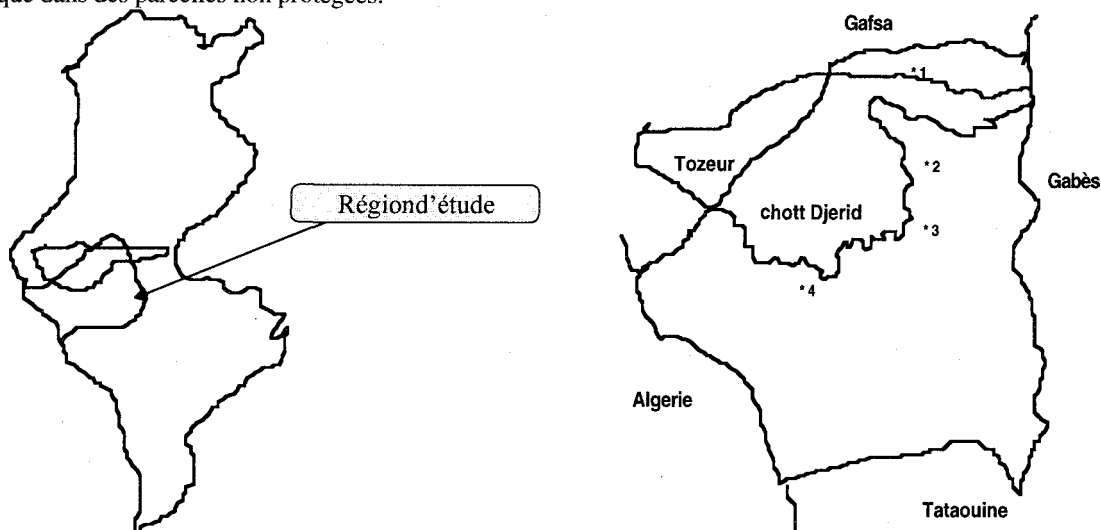


Fig. 1. La région de Kébili: Localisation des quatre sites étudiés :
1- Chareb 2- Kébili 3- Atillet (Jemna) 4- El-Faouar

- le premier se situe, au nord du Chott Jérid dans la zone du Chareb. Il est caractérisé par un sol profond très propice aux cultures, résultat des accumulations des dépôts alluvio-colluviaux recevant des eaux de ruissellement. Les espèces végétales dominantes au niveau de ce site, sont *Arthrophytum scoparium* et *Thymelea hirsuta*.

- le deuxième se trouve dans la zone dite Kébili-parcours, et est caractérisé par un sol gypseux comportant une végétation à base de *Retama raetam* et d'*Arthrophytum shmittianum*

- le troisième se trouve à Atillet près de Jemna sur un sol très salé comportant une végétation dominée par *Traganum nudatum* et *Zygophyllum album*.

- le quatrième se localise à El-Faouar et fait partie de la zone de transition entre Chott El Jerid et le Grand Erg Oriental et est caractérisé par l'existence de dunes mobiles. La flore est dominée par *Limoniastrum guyonianum* et *Traganum nudatum*.

Dans chaque placette, la mesure du couvert végétal est effectuée à l'aide de la méthode du point quadrat décrite par COOK et STUBDENDIECK (1986) moyennant deux roulettes (de 25m chacune) superposées d'une façon perpendiculaire. La composition floristique est déterminée à partir du recouvrement total. La phytomasse aérienne est déterminée avec la méthode utilisée par TADMOR *et al.*, (1975) qui est une estimation calibrée de certains quadrats coupés directement et d'autre évalués visuellement.

Résultats et discussion

Les résultats des mesures de la composition floristique du couvert végétal pour l'ensemble des sites sont représentés respectivement dans les tableaux 1,2,3,4. Ces résultats sont ci-dessous analysés, site par site:

- **Site Chareb:** Le couvert végétal dans ce site est composé de 22 espèces réparties à moitié entre ligneuses et herbacées, bien que leur contribution au couvert végétal diffère puisque dans les deux zones, les espèces herbacées occupent aux environs de 75%. Parmi les ligneuses on note, cependant, l'absence de certaines espèces dans la parcelle non protégée telles que *Moricandia arvensis* et *Helianthemum sessiliflorum*, l'abondance de certaines autres telle que le *Peganum harmala* et l'apparition d'une nouvelle espèce (*Euphorbia guyoniana*) qui n'existe pas dans la zone mise en défens. Ce fait peut être expliqué par le surpâturage de la zone non protégée (HEADY, 1975) qui est à l'origine de la disparition des espèces appréciées au dépend des espèces les moins appréciées (NOY-MEIR et al., 1989).

Tableau 1. Richesse floristique (en % du couvert végétal) du site Chareb

	Zone protégée	Zone non protégée
<i>Arthrophytum scoparium</i>	5.88	3.84
<i>A. shimittianum</i>	1.47	-
<i>Traganum nudatum</i>	2.94	5.76
<i>Thymelia hirsuta</i>	1.47	1.92
<i>Astragalus armatus</i>	1.47	5.76
<i>Peganum harmala</i>	1.47	1.92
<i>Marrubium deserti</i>	1.47	1.92
<i>Moricandia arvensis</i>	5.88	-
<i>Diploxys harra</i>	1.47	-
<i>Helianthemum sessiliflorum</i>	1.47	-
<i>Euphorbia guyoniana</i>	-	3.84
Total ligneux	24.99	24.96
<i>Plantago albicans</i>	20.58	26.92
<i>Cutandia dichotoma</i>	19.11	11.53
<i>Lotus creticus</i>	8.82	7.69
<i>Argyrolobium uniflorum</i>	5.88	3.84
<i>Launea resedifolia</i>	5.88	1.92
<i>Launea glomerata</i>	1.47	3.84
Autres herbacées	16.21	22.86
Total herbacées	74.95	74.60

Tableau 2. Richesse floristique (en % du couvert végétal) du site Kébili.

	Zone protégée	Zone non protégée
<i>Retama raetam</i>	20.68	12.24
<i>A. shimittianum</i>	12.06	8.16
<i>Limoniastrum guyonianum</i>	8.62	4.08
<i>Reaumuria vermiculata</i>	3.44	4.08
<i>Rhanterium suaveolens</i>	1.72	-
<i>Pituranthos tortuosus</i>	6.89	-
<i>Astragalus armatus</i>	6.89	-
<i>Helianthemum sessiliflorum</i>	1.72	8.16
<i>Zygophyllum album</i>	1.72	4.08
<i>Euphorbia guyoniana</i>	-	8.16
Total ligneux	63.74	48.26
<i>Plantago albicans</i>	15.51	14.28
<i>Argyrolobium uniflorum</i>	5.17	2.04
<i>Lotus creticus</i>	6.89	12.24
Autres herbacées	8.62	22.44
Total herbacées	36.19	51

- **Site Kébili:** Le couvert végétal de ce site est constitué d'une quinzaine d'espèces pastorales. Les espèces ligneuses sont plus représentées dans la zone protégée. Leur contribution au couvert végétal est de 64%

dans la parcelle mise en défens contre un taux de 48% dans la parcelle témoin. Cette différence est due à la disparition, par surpâturage, de certaines espèces palatables comme *Rhanterium suaveolens* et *Pituranthos tortuosus* ou de la réduction, sous l'effet de l'action anthropique, d'autres espèces telles que *Retama raetam* et *Limoniastrum guyonianum* (ZAAFOURI et REGUIG, 1995).

- **Site Ailet:** La diversité floristique de ce site est plus pauvre que celle des deux premiers sites. Seulement 12 espèces sont présentes dans ce site. Les espèces herbacées sont les plus représentées surtout dans la zone non protégée où leur taux de recouvrement atteint 58% contre un taux de 53% dans la zone mise en défens. Leur présence est cependant plus liée au régime pluviométrique que celle des pérennes.

- **Site El-Faouar:** Envahi par différentes formes dunaires, ce site est caractérisé par sa faible richesse floristique. Seulement quatre espèces ligneuses y sont représentées. Leur contribution au couvert végétal est la même aussi bien dans la zone mise en défens que dans la zone non protégée.

Tableau 3. Richesse floristique (en % du couvert végétal) du site Ailet.

	Zone protégée	Zone non protégée
<i>Traganum nudatum</i>	19.35	7.31
<i>Reaumuria vermiculata</i>	-	3.22
<i>Zygophyllum album</i>	19.35	26.58
<i>Suaeda mollis</i>	1.61	4.87
<i>Limoniastrum guyonianum</i>	3.22	-
<i>Frankenia thymifolia</i>	-	2.44
Total ligneux	46.75	41.2
<i>Plantago albicans</i>	6.45	14.63
<i>Cutandia dichotoma</i>	12.9	12.19
<i>Hedysarum spinosissimum</i>	4.83	4.87
Autres herbacées	29.03	26.63
Total herbacées	53.21	58.32

Tableau 4. Richesse floristique (en % du couvert végétal) du site El-Faouar.

	Zone protégée	Zone non protégée
<i>Limoniastrum guyonianum</i>	66.66	66.66
<i>Traganum nudatum</i>	19.04	16.66
<i>Arthrocnemum indicum</i>	9.52	11.11
<i>Zygophyllum album</i>	4.88	5.55
Total ligneux	100	100

La densité des plantes (espèces pérennes et annuelles confondues) (Tableau 5) diminue avec l'aridité en allant du site Chareb au site El-Faouar. L'effet bénéfique de la protection sur la densité évolue dans le même sens.

Tableau 5. Densité moyenne de la végétation (nombre total d'espèces m⁻²)

	Zone protégée	Zone non protégée
Chareb	9±3	7±2
Kebili	8±4	4±2
Ailet	6±4	5±3
El-Faouar	2±1	2±1

En terme de recouvrement global et de phytomasse aérienne (figures 2 et 3), on constate que ces deux paramètres sont plus élevés dans la région la plus septentrionale et diminuent progressivement en allant vers le sud. Il est à remarquer que malgré une mise en défens de dix ans, la phytomasse aérienne du premier site est restée en deçà des celles des écosystèmes de référence en bon état, évaluée par FLORET et PONTANIER (1982) à 600KgMS/ha/an.

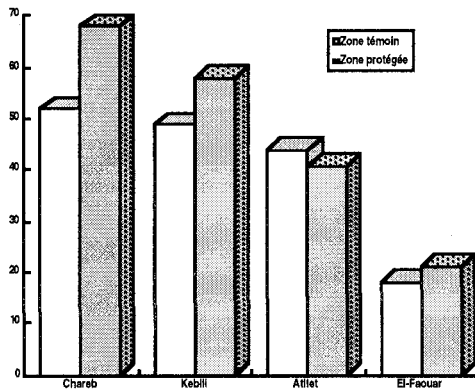


Fig. 2. Taux de recouvrement (%) des sites étudiés.

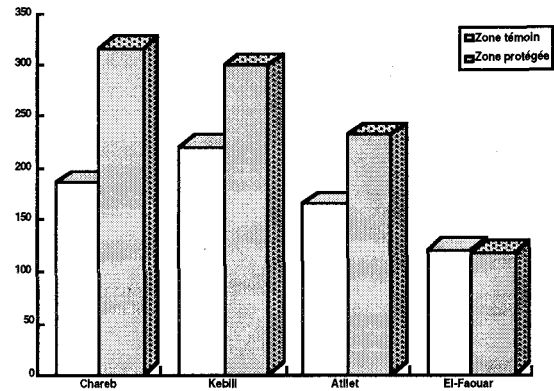


Fig. 3. Pytomasse aérienne produite dans les sites étudiés.

La figure 4 illustre l'effet bénéfique de la mise en défens exprimé par le taux d'amélioration en % du couvert végétal et la phytomasse aérienne tout au long du gradient d'aridité.

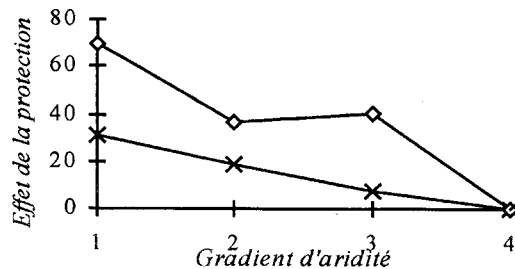


Fig. 4. Taux d'amélioration (%) du recouvrement et de la biomasse en fonction de l'aridité sous l'effet de la mise en défens.

D'après cette figure, on constate qu'au bout de dix ans de protection, le couvert végétal et la biomasse dans le site 1, ont augmenté respectivement de 30% et de 70% par rapport à ceux de la zone témoin. Ces pourcentages vont ensuite en diminuant pour atteindre une valeur nulle au niveau du site le plus sec (El-Faouar) montrant ainsi que l'effet de la protection est pratiquement nul dans cette zone.

De ces résultats on peut déduire que les écosystèmes sahariens sont très fragiles et que la dynamique de la végétation est très lente voire nulle du moins pour une durée de 10 ans et que le retour à l'état initial d'un écosystème après une perturbation, aussi légère soit elle, nécessite une période plus longue (AYYAD et EL-KADI, 1982). La période de dynamique active du couvert végétal dans la zone d'étude paraît donc plus longue que celle de 10 ans déterminée par TELAHIGUE *et al.* (1987) dans le cas des systèmes écologiques du sud-est du pays où les conditions climatiques sont plus favorables.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que l'effet bénéfique de la mise en défens diminue avec le gradient d'aridité en allant du nord vers le sud. C'est ainsi que la mise en défens qui a engendré respectivement une augmentation de 30% et de 70% du taux de recouvrement et de la phytomasse aérienne au niveau de la station la moins aride, n'a eu aucun effet sur le couvert végétal de la station la plus septentrionale (celle d'El-Faouar). Par ailleurs, la mise en défens s'est traduite par une richesse floristique qui est d'autant plus importante que les conditions pluviométriques sont favorables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ayyad M. A., El-Kadi H. F., 1982. *Effect of protection and controlled grazing on the vegetation of Mediterranean desert ecosystem in Northern Egypt*. Vegetation 49: 129-139.
- Cook C.W., Stubbendieck J. 1986. *Range Research: Basic Problems and Techniques*. Society for Range Management, Denver, Colorado, 51-75.
- D. G. F., 1995. *Inventaire national des ressources forestières et pastorales*. Séminaire de Kerkennah: 28-30 juin 1995.
- Floret C., Pontanier R. 1982. *L'aridité en Tunisie présaharienne*. Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 150, Paris, 540 p.
- Heady H. F. 1975. *Rangeland management*. MC Graw-Hill Book Company. New York.
- Le Houerou H.N. 1981. *Impact of man and his animals on Mediterranean vegetation*. In: F. Di-Castri, D. Goodall and R. Specht (eds). *Mediterranean-type Shrubland*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Noy-Meir I., Gutman M., Kalpan Y. 1989. *Responses of Mediterranean grassland plants to grazing and protection*. J. Ecol. 77: 290-310.
- Ouled Belgacem A., Zaafouri M.S. 1996. *Impact de la privatisation des terres de parcours collectives sur la végétation pastorale des zones arides et désertiques*. In: *Impact du régime foncier sur la végétation de l'espace pastoral en régions arides et semi-arides*. 4^{ème} Séminaire International du Réseau Parcours, Gabès (Tunisie): 17-19 octobre 1996.
- Sarfatti P. 1988. *Il clima del Governatorato di Kebili in Tunisia*. Rivista di agricoltura subtropicale e tropicale. Trimestrale Anno LXXXII n° 1-2 Gennaio-Giugno.
- Tadmor N.H., Brieghet A., Noy-Meir I., Benjamin R.W., Ezra E. 1975. *An evaluation of the calibrated weight-estimate method for measuring production in annual vegetation*. J. Range Manage. 28(1): 65-69.
- Telahigue T., Floret C. et Le Floc'h E. 1987. *Succession post-culturale en zone aride de Tunisie*. Acta oecologia, oecol. Plant. Vol. 8 (22)n°1: 45-58.
- Zaafouri M.S., Rguig M. 1995. *Impact de l'homme sur la végétation ligneuse de la strate arbustive et arborée en zone désertique*. Sémi. Evolution des milieux naturels et dynamique des populations en Tunisie. ORSTOM/Minist. Agriculture Tunisie. Sidi Thebet (Tunis), 9 et 10 janvier 1996.

LA FORET STEPPE A ACACIA TORTILIS SBSSP. RADDIANA VAR. RADDIANA DE LA TUNISIE ARIDE : DYNAMIQUE ET EVOLUTION

Med Sghaïer Zaafouri*, Mongi Zouaghi**, Nouredine Akrimi* * et Habib Jeder*

* Institut des Régions Arides Médenine (IRA)

** Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)

RESUME

L'élimination des perturbations externes, principalement anthropique, permet à la forêt de "gommier" de se reconstituer plus ou moins rapidement. En effet suite à une mise en défens de 6 années (Cas du Parc de Haddej), la structure du peuplement d'*Acacia tortilis* sbssp. *raddiana* var. *raddiana* a évolué d'une structure irrégulière, résultant des perturbations externes, vers une structure jardinée caractéristique d'un peuplement forestier naturel. Il semble donc que la forêt de "gommier" de la Tunisie se caractérise par une bonne stabilité en présence de perturbation anthropique et dans le cas de disparition des perturbations sa résilience est relativement rapide.

Le cortège floristique de la forêt de "gommier", s'est aussi reconstitué. Toutefois sa vitesse de cicatrisation est relativement lente, malgré une importante couverture végétale, composée essentiellement d'espèces annuelles, réapparue à la faveur d'une année 1995/1996 exceptionnellement pluvieuse. En effet, la richesse floristique en espèces pérennes reste encore faible en raison de la disparition des espèces clés de voûtes.

Mots Cles: *Acacia tortilis* - Zone aride - perturbations - Dynamique - Evolution

SUMMARY

Acacia forest can be restored when protected from anthropic practices. In fact, after 6 years protection, *Acacia tortilis* subssp. *raddiana* var. *raddiana* peuplement have had a regular garden structure instead of erratic structure. Tunisian *Acacia*'s forest seems to have a good stability when external influences imposed and very fast ductility, when and rid of disruptions.

Shrub's species composition was also improved. However cicatrisation's velocity was too slow even though the exceptional amount of rain for the year 1995/1996. Perennial shrub's composition still low due to main species disappears.

Key words : *Acacia tortilis* ; arid zone ; disruptions ; dynamics ; evolution.

1. INTRODUCTION

Le terme forêt steppe a été utilisé pour la première fois en Tunisie par Doumet-Adanson en 1874 pour désigner la forêt de "gommier" à *Acacia tortilis* sbssp. *raddiana* du Bled Talah, lors de la première visite d'exploration de cette forêt. Ce terme a été repris par El Hamrouni (1992) pour désigner les formations préforestières de la zone aride et sub-saharienne. Cet auteur définissait ainsi deux types de forêts steppes dans ces zones:

- la forêt steppe à pistachier constituée par le matorral thermophile en bordure de mer ou au piémont sud de la Dorsale Tunisienne à base de *Pistacia lentiscus*, *Olea europea* et *Ceratonia siliqua*;

- la forêt steppe de "gommier" ou *Acacia tortilis* sbssp. *raddiana* localisée dans la zone du Bled Talah.

Ces deux types de formations préforestières sont fortement anthropisés. Si la première forêt se cantonne actuellement dans les expositions sud de la Dorsale et les hauteurs inaccessibles des chaînes montagneuses du centre et sud du pays, la forêt à *Acacia tortilis* subsiste dans la plaine bien qu'elle subisse, depuis plus d'un siècle, une pression anthropique forte et continue. Par ailleurs la forêt de "gommier" reste sous la menace d'une intensification agricole non raisonnée qui se traduit par une surexploitation des ressources naturelles, puis des perturbations affectant l'écosystème naturel de cette unique forêt de la Tunisie présaharienne: dégradation du cortège floristique et par conséquent désertisation.

La sédentarisation de la population dans l'aire naturelle de la forêt, de "gommier" a profondément transformé sa structure et sa dynamique naturelles. En effet cette forêt constitue un exemple illustratif de la

transformation du système d'exploitation des ressources naturelles en zone aride tunisienne. Parmi les nombreuses conséquences de cette utilisation irrationnelle on peut citer :

- la troncature du sol (apparition du substrat);
- la formation des ravins (forme la plus avancée de l'érosion hydrique);
- l'appauvrissement de la couche arable (absence de matière organique);
- l'aridité édaphique accentuée (infiltration nulle);
- l'augmentation de ruissellement;
- le blocage de la résilience de la forêt d'*A. tortilis* et de son cortège floristique;
- la faible diversité floristique et faunistique.

Cette contribution a pour objet d'étudier la structure et la dynamique de la forêt de "gommier" en Tunisie. La réserve de Haddej (Parc National de Bouhedma) située dans le Bled Talah est retenue comme référence.

2. Distribution biogéographique de l'espèce:

2.1. Aire de répartition dans le monde (Brenan, 1983 et CCE, 1993)

A. tortilis sbsp. *raddiana* est largement répandue en Afrique et en Asie.

En Afrique, cette espèce se rencontre dans trois aires distinctes:

- Nord Sahara: Maroc, Algérie, Tunisie, Libye et Egypte.
- Sud Sahara dans la zone sahélo-soudanaise: Mauritanie, Sénégal, Mali, Niger, Tchad et Soudan.
- Zone tropicale humide: du Nigéria/Cameroun jusqu'à la République Centrafricaine.

En Asie, *A. tortilis* est répandue essentiellement au Moyen-Orient: du Palestine jusqu'au Sud de l'Arabie et au Yémen.

2.2. Aire de répartition en Tunisie (Fig. 1)

Acacia tortilis fut signalée pour la première fois en 1853 par Pellissier, consul de France à Tunis. Il mentionne qu'une "petite rivière" (oued Chrichira actuellement) traverse un peuplement de *Mimosa gummifera* et va se jeter dans un "petit lac" (sebkhat En Noual actuellement). Les explorations de la forêt de gommier du Bled Talah se sont succédées depuis. Au début l'espèce qui constitue cette forêt a été prise pour *Acacia gummifera* originaire du Maroc, d'où le nom de **forêt de gommier** du Bled Talah et ce n'est que vers 1874 que Doûmet-Adanson et Cosson ont admis que le gommier du Bled Talah est une forêt d'*Acacia tortilis*. Cette dénomination taxonomique a été confirmée par plusieurs autres botanistes dont De Chaignon (1905) et Brenan (1983).

Doûmet-Adanson (1874), Blanc (1889), de Chaignon (1905), Peyrouton (1936), rapportaient que tout le sud de la régence entre Gabès et Gafsa devrait être couvert d'*A. tortilis* depuis l'antiquité. Cette forêt a subi l'action destructive au cours de la guerre mondiale de 1914/1918 et durant les 4 années d'existence au poste d'El Aïcha (1882/1885) des militaires français (Monod, 1974).

L'aire qu'occupe *A. tortilis*, en Tunisie, il y a plus d'un siècle s'étend de Kairouan à Dhhiba et de Sidi Bouzid à Ben Guerdane (Long, 1954, Le Houerou, 1959 et 1969 et El Hamrouni, 1992). Au début de ce siècle *A. tortilis* fut signalée hors de son aire actuelle (Est-Ouest: de Mazzouna à El Ghettar et Nord-Sud: de la chaîne d'Orbata-Bouhedma à la Chaîne Jbel Nfissa-Jbel El Laham) dans les endroits suivants:

- sur la route Kairouan-El Jem (Blanc, 1874);
- près de Sidi Bouzid (Long, 1954 et Le Houerou, 1959);
- vallée d'oued Leben, Bled Segui et Zallouza (Lavauden, 1927);
- Dhhiba (Le Houerou, 1959).

D'autres stations qui n'étaient pas signalées auparavant ont été découvertes ces dernières années par Zaafouri. Il s'agit des stations suivantes:

- à 8 km de Regueb sur la route Regueb Mazzouna;
- Ghidir Rebaï sur la route Mazzouna-Skira;
- à quelque kilomètres de Stifimi près de Kébili, vers Chareb.

Cette forêt qui couvrait autrefois près de 30 000 ha à Jbel Bouhedma et à Bled Talah est réduite actuellement à moins de 10 000 ha (El Hamrouni, 1992).

L'origine de cette forêt est encore douteuse, la population locale rapporte que cette espèce fut introduite avec l'invasion de la Tunisie par les Hélelites (début du 11^{ème} siècle) dans les excréments de chameaux. Quant aux scientifiques, certains considèrent que cette forêt est une relique tropicale (Lavauden, 1927) et d'autres considèrent qu'*A. tortilis* qui a formé cette forêt fut introduite de Ghdamès dans Bled Talah (Bonnet et Barrate in Schoeneberger in El Hamrouni, 1992).

Les caractéristiques forestières de cette forêt décrites entre 1900 et 1925 par les différents explorateurs sont les suivantes:

- hauteur totale des adultes: 9 à 10 m (10 m au maximum)
- hauteur du tronc: 3 à 4 m au maximum

- diamètre basal moyen du tronc: 15 à 20 cm
- diamètre basal des plus gros arbres: 2,3 à 3 m
- densité à l'hectare: 4 à 25 pieds équidistants dans le premier cas de 50 m et dans le deuxième cas de 20 m.

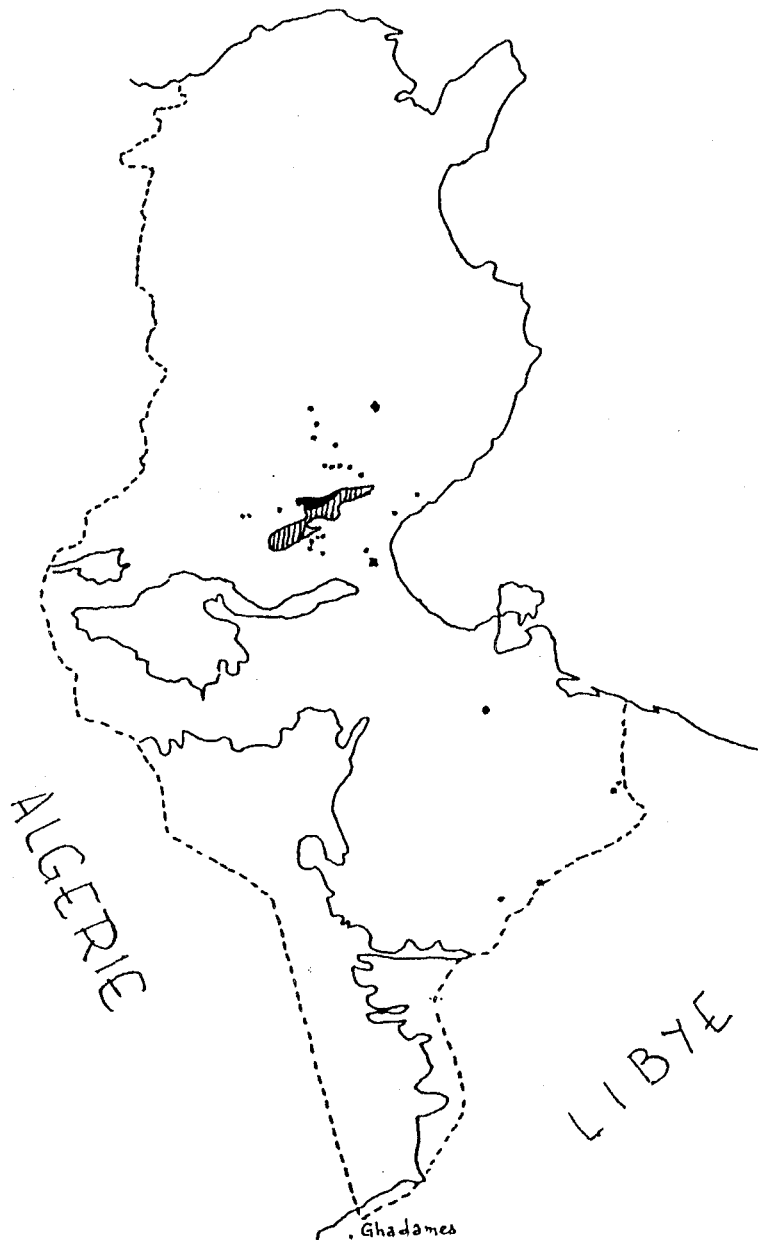


Fig.1. Aire de répartition d'*Acacia tortilis* en Tunisie

3. Diagnostic de la forêt d'*Acacia tortilis* et de son cortège floristique: Cas de la Réserve de Haddej

3.1. Méthodologie des diagnostics

3.1.1. Méthode de diagnostic de la strate arborescente

L'étude des caractéristiques forestières de la forêt d'*A. tortilis* est basée sur un échantillonnage stratifié. Cette stratification est en fonction de la densité et de l'âge du peuplement (Decourt, 1973.a; Peters, 1974 et Akrimi, 1984). Ainsi des strates sont délimitées dans la zone mise en défens (Réserve de Haddej) et d'autres aux environs de cette réserve. Deux placettes/strates sont matérialisées.

Les paramètres retenus pour caractériser cette forêt sont ceux les plus pertinents et les plus utilisés en foresterie (Pardé, 1961) à savoir:

- le diamètre du tronc;

- la densité;
- la hauteur.

La morphologie d'*A. tortilis* n'a pas permis de mesurer le diamètre du tronc à 1,30 m (diamètre de référence en foresterie). Pour cette raison, nous nous sommes contraints de prendre le diamètre basal du tronc (10 à 15 cm du sol) souvent utilisé pour caractériser les arbres qui n'ont pas un tronc individualisé et d'une hauteur supérieure à 1,30 m (F.A.O, 1982)

3.1.2. Méthode de diagnostic du cortège floristique

L'étude du cortège floristique de la Forêt d'*A. tortilis* (strate herbacée) est basée sur l'identification des différents groupements végétaux de la réserve. Les groupements sont définis par les unités morpho- (plaine, glaciais, lit d'oued, etc.) pédologiques (texture et structure de la couche meuble) et les espèces végétales dominantes (une ou deux espèces).

Dans chaque groupement sont matérialisés deux transects de 20 m linéaire chacun et deux carrés permanents de 1 m²/ groupement. La caractérisation floristique de chaque transect est réalisée selon la méthode d'analyse linéaire de point quadrat (Goodall, 1952.b et 1953.c; Long, 1958 et Gounot, 1969). La distance entre les points est de 10 cm; soit 200 points/transect et 400 points/groupement, sachant que statistiquement, il faut 100 points au minimum (Gounot, 1969.b et Floret, 1988).

Les espèces végétales présentes dans les carrés permanents sont dénombrées afin de caractériser la dynamique de régénération de la végétation.

En se basant sur les relevés effectués par Schoenenberger (mars 1990), lors de l'installation de la clôture pour la protection et ceux réalisés par nous mêmes, six années après (janvier-mars 1996), nous essayerons d'analyser la dynamique qu'a connue la végétation naturelle de la forêt de "gommier" de la Tunisie.

4. Résultats et discussions:

4.1. Les conditions climatiques

Dans le tableau I sont récapitulées les principales caractéristiques climatiques de l'année 1995 de la station météorologique de Haddej installée par l'Institut des Régions Arides.

Les premières observations montrent que la période pluvieuse (plus de 90 % de pluie) s'étend sur 4 mois (septembre, octobre, novembre et décembre). Cette période coïncide, pour les deux derniers mois, avec le début de la période froide. Par rapport à la moyenne régionale de 52 ans dans la station de Bouhedma (220 mm), située à 15 km au nord-est de Haddej, l'année 1995 est relativement pluvieuse et les moyennes des températures minima et maxima de l'année considérée sont également plus élevées que celle des moyennes générales de la zone.

Tableau I. Caractéristiques climatiques du Bled Talah durant l'année 1995 (Station météorologique de Haddej)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
P (mm)	2	0	10	13	1	0	0	0	89	87	54	49	303
T (°C)	11,7	15,4	15,2	17,4	23,0	26,7	28,9	30,7	26,0	20,7	16,0	14,3	20,5
T. min. (°C)	6,0	8,3	9,0	11,1	15,7	19,6	22,3	23,4	20,9	16,5	10,3	9,5	14,4
T. max. (°C)	17,3	22,2	21,5	23,9	30,5	34,1	36,4	38,3	31,7	25,7	21,5	19,0	26,8
Rg (w.m ⁻²)	3140	4503	5139	6580	7269	7521	7558	7250	5164	4028	3306	2747	5350
HR (%)	48,8	51,1	47,7	51,9	44,2	45,9	50,3	48,1	63,0	73,7	60,5	73,6	54,9
V (m.s ⁻¹)	3,1	2,5	2,9	3,1	2,8	3,0	2,7	2,5	2,4	1,3	1,8	2,1	2,5

Légendes

P =Pluviométrie annuelle, T=Température moyenne, T. min.=Moyenne des températures minima, T. max.=Moyenne des températures maxima, Rg=Moyenne du rayonnement global, HR =Moyenne de l'humidité relative, V =Moyenne des vitesses du vent

4.2. Les conditions édaphiques

Les sols de la réserve de Haddej se caractérisent principalement par la faible teneur en matière organique (< 2 %) et les fortes teneurs en sables (> 70 %), en argiles (7 à 11 %) et en limons (10 à 16 %), par une forte teneur en calcaire et une teneur en gypse nulle. La densité apparente, en moyenne de 1,6, traduit le compactage des sols. Les faibles humidités pondérales (2 à 6,5 %) aux pF4,2 et 3 leur confèrent une percolation élevée.

Deux principaux types de sols sont distingués dans la réserve. Il s'agit de:

- sols peu évolués d'apport alluvial et ayant une texture sablo-limoneuse;

- sols peu évolués d'apport éolien à texture sableuse à sablo-limoneuse

4.3. Dynamique et évolution du peuplement d'*Acacia tortilis*

Un peuplement forestier se caractérise par son origine (semences ou rejets), sa structure (arrangement des classes d'âges ou des diamètres), sa hauteur et sa densité (Pardé, 1962 et Peters, 1974).

A/ Origine: le peuplement d'*Acacia tortilis* du Bled Talah est issu d'une régénération naturelle. **Ainsi ce peuplement est une futaie naturelle.**

B/ Structure: elle est définie par la répartition des classes d'âges et dans la pratique par les classes des diamètres du tronc.

Dans le tableau II sont consignées les différentes classes des diamètres du peuplement de la réserve Haddej et ses environs.

Un peuplement se caractérise par l'une des trois structures suivantes:

* une structure régulière où tous les arbres ont des âges voisins et par conséquent des diamètres peu différents; le peuplement dans ce cas est dit équien. La courbe de fréquence des diamètres est une courbe en cloche (courbe de Gauss);

* une structure jardinée où tous les âges ou en pratique tous les diamètres sont représentés. le peuplement peut être jardiné pied par pied ou jardiné par bouquet. La courbe de fréquence des diamètres est représentative d'une fonction sensiblement exponentielle;

* une structure irrégulière. Cette structure n'est pas reconnue comme une structure naturelle; elle est en effet très artificielle et provient d'une perturbation externe ou des conditions très particulières. La courbe de fréquence des diamètres de ce type de peuplement n'obéit à aucune loi.

Tableau II. Distribution des classes des diamètres basaux du peuplement d'*Acacia tortilis* du Parc de Haddej et ses environs

Diamètre basal du tronc (cm)	1,25	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Peuplement du Parc	33* 11,9**	31 11,2	25 9	18 6,5	6 2,2	13 4,7	16 5,8	4 1,4	7 2,5	2 0,7	3 0,7	1 0,4	1 0,4
Peuplement hors Parc et ses environs	9* 3,2**	18 6,4	7 2,5	14 5	3 1,1	9 3,2	6 2,2	18 6,5	14 5	10 3,6	5 1,8	3 1,1	1 0,4

Légendes

* nombre d'individus/classe de diamètre ** pourcentage du nombre total des individus

L'examen de la représentation graphique de la fréquence de diamètre des peuplements d'*Acacia tortilis* de la réserve de Haddej et ses environs (Fig. 2) montre que:

-la courbe de fréquence des diamètres, du peuplement de la réserve, a une allure exponentielle. **Ce peuplement est donc de structure jardinée.**

-la courbe de fréquence des diamètres du peuplement des environs de la réserve n'a ni l'allure d'une courbe de Gauss ni celle d'une courbe exponentielle. La structure de ce peuplement n'est par conséquent ni régulière (peuplement équien) ni jardinée: **c'est une structure irrégulière.**

Ainsi le peuplement d'*Acacia tortilis* de la réserve de Haddej a évolué d'une structure irrégulière, qui caractérise actuellement le peuplement hors zone protégée, à une structure jardinée. Cette évolution, positive, est essentiellement due à la disparition des perturbations externes (anthropique principalement). La disparition des ces perturbations, suite à une protection de longue durée, a permis le maintien des jeunes semis issus de la régénération naturelle (diamètre < 10 cm) et la protection des autres classes de diamètres contre les coupes illicites. En revanche, le peuplement d'*A. tortilis*, hors de la zone protégée, soumis encore aux perturbations anthropiques, a une structure irrégulière. Cette structure semble caractériser toute la forêt de "gommier", non protégée, de la Tunisie qui est soumise aux actions anthropiques persistantes et fortes.

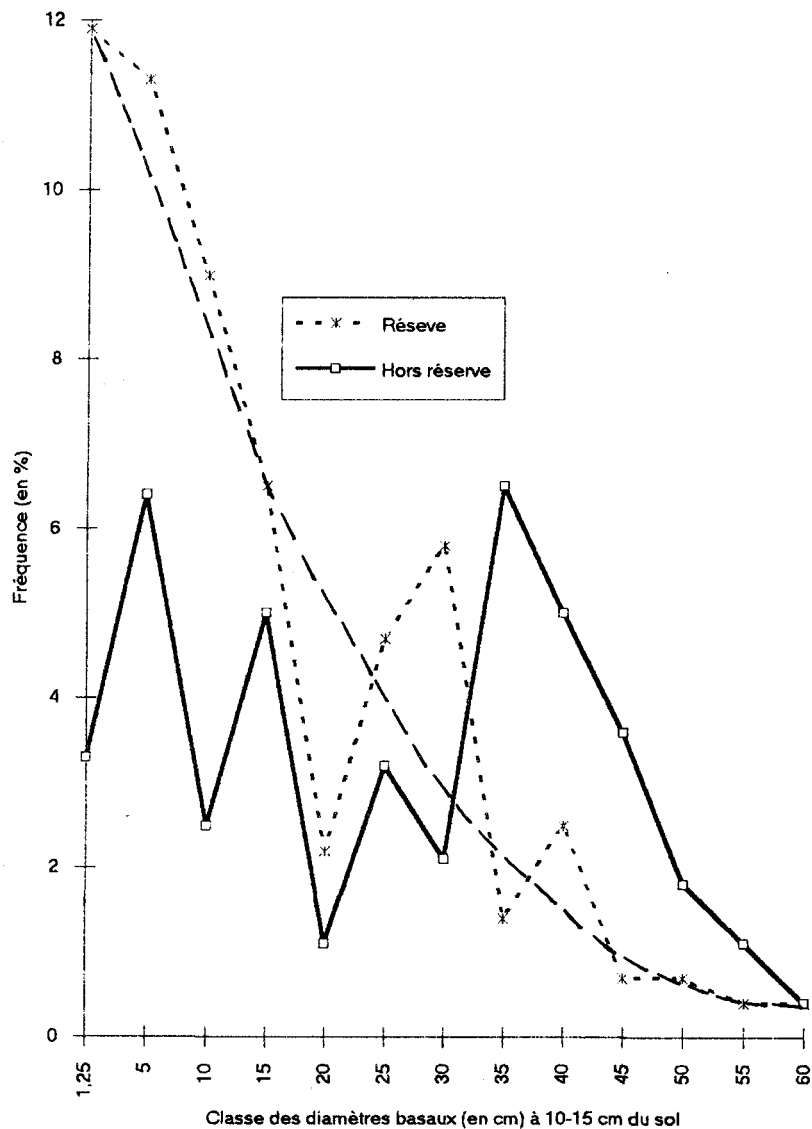
Signalons que la structure irrégulière d'un peuplement n'est pas la conséquence d'une évolution naturelle mais la résultante de perturbations externes.

La distribution des effectifs/classe de diamètre reportée sur la figure 3 montre que:

-Le peuplement d'*Acacia tortilis* de la zone protégée (réserve de Haddej) se caractérise par l'abondance relative d'individus jeunes (diamètre ≤ 15 cm), et le déficit des individus moyens (diamètre 20 et 25 cm) et vieux (diamètre ≥ 35 cm). Cet état de fait est la conséquence d'une ancienne action anthropique négative (exploitation)

et positive récente (protection par mise en défens). La première ayant perturbé l'évolution naturelle de la structure et la seconde induisant un renversement de cette situation.

Fig. 2. Courbes de structure de peuplement d'*Acacia tortilis* de la réserve de Haddej et ses environs



En effet l'action persistante et forte de l'homme a été à l'origine du déficit dans les classes des diamètres sus-indiquées. Toutefois, après la création de la réserve, la régénération naturelle était abondante et la mise en défens a sauvé les jeunes pousses (diamètre ≤ 5 cm) contre le pacage. Les individus de diamètre 10 et 15 cm ont été aussi protégés contre l'exploitation.

-Le peuplement d'*Acacia tortilis* hors de la zone protégée se caractérise par l'abondance des individus des diamètres 5, 15, 35, 40 et 45 cm et la déficience en individus de classe 10, 20 à 30 et ≥ 50 cm. Ce déséquilibre dans la structure est dû essentiellement à la perturbation anthropique.

La comparaison fait ressortir que le peuplement d'*A. tortilis* dans la réserve de Haddej est plus jeune que celui des environs, en raison d'une régénération naturelle suite à la protection depuis 1990.

Globalement, le peuplement d'*A. tortilis*, de la zone protégée, pourrait être considéré comme **une jeune futaie jardinée** et celui de la zone non protégée comme **une futaie irrégulière relativement âgée**.

Les diamètres basaux moyens des peuplements d'*A. tortilis* dans la réserve de Haddej et dans les environs sont les suivants:

-Peuplement global = $19,4 \text{ cm} \pm 15,8$; la classe de diamètre $20 \text{ cm} \pm 15$

-Peuplement non protégé = $25,3 \text{ cm} \pm 16,5$: classe de diamètre $25 \text{ cm} \pm 15$

-Peuplement protégé = $15,1 \pm 13,7$: classe de diamètre $15 \text{ cm} \pm 15$

C/ Hauteur: la hauteur moyenne (à partir du sol jusqu'au sommet de la cime) des adultes varie en fonction des diamètres. Elle n'est pas influencée par l'action anthropique. Ainsi la hauteur est sensiblement la même pour tout le peuplement d'*A. tortilis* de la Tunisie, elle varie de 8 à 10 m.

D/ Densité: la densité par hectare des deux peuplement est très variable. Si hors de la zone non protégée la densité est de 1 à 5 pieds ha^{-1} , dans celle protégée cette densité se présente ainsi:

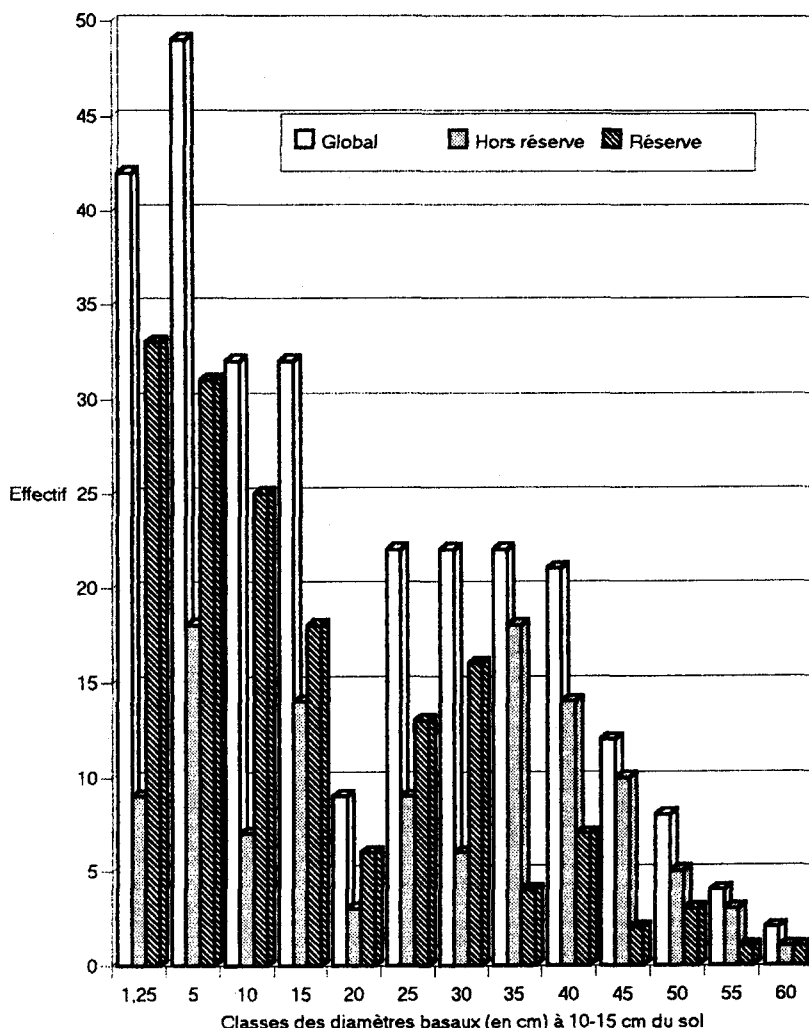
-quelques pieds épars (1 à 5 ha^{-1}): cas d'une vieille futaie (diamètre > 40 cm);

-5 à 15 pieds ha^{-1} : cas d'une futaie d'âge moyen (diamètre 20 à 40 cm);

-15 à 30 pieds ha^{-1} : cas d'une jeune futaie (diamètre ≤ 15 cm)

Dans un bosquet formé d'individus ayant un diamètre de 5 à 20 cm nous avons dénombré une densité de 300 individus ha^{-1} .

Fig.3. Structure de peuplement d'*Acacia tortilis* dans la réserve de Haddej en référence à la structure globale et celle des environs (Effectif/classe de diamètre)



Dans la zone protégée, les jeunes individus (diamètre ≤ 15 cm) prédominent, en revanche hors de cette zone, le peuplement est relativement plus vieux. Les individus de diamètre ≥ 35 cm sont les plus abondants dans ce dernier peuplement. La densité est plus élevée dans le peuplement protégé que celui non protégé.

Si la résistance des deux peuplement aux perturbations anthropiques semble être bonne, la vitesse de cicatrisation ou résilience (au sens d'Odum, 1969) du peuplement de la zone protégée est plus rapide que celui de la zone non protégée en raison de la disparition des perturbations externes à la suite de la protection. Le

peuplement hors de la zone protégée continue à subir les perturbations anthropiques et par conséquent sa capacité de résilience est presque bloquée.

En général, la forêt de "gommier" de la Tunisie se caractérise par une bonne stabilité (résilience et résistance) et ce, malgré les perturbations anthropiques qu'elle subit depuis longtemps.

4.4. Dynamique et évolution du cortège floristique de la forêt de "gommier"

Il s'agit des groupements végétaux qui constituent la strate arbustive et herbacée du peuplement d'*A. tortilis*, ainsi que de ceux caractérisés par l'absence de la strate arborée liée à cette espèce.

Les groupements végétaux, dans la zone protégée de la réserve de Haddej, au nombre de 9, sont les suivants:

Transect 1 (T1) - Groupement à *Rhanterium suaveolens*

Transect 2 (T2) - " à *Artemisia campestris*

Transect 3 (T3) - " à *Hamada scoparia* (= *Arthrophytum scoparium*)

Transect 4 (T4) - " à *Cynodon dactylon* et *Ziziphus lotus*

Transect 5 (T4) - " à *Cenchrus ciliaris*

Transect 6 (T6) - " à *Helianthemum kahiricum* et *Gymnocarpos decander*

Transect 7 (T7) - " à *Cynodon dactylon* et *Pituranthos tortuosus*

Transect 8 (T8) - " à *Arthrophytum schmittianum* et *Astragalus armatus*

Transect 9 (T9) - " à *Helianthemum lippii* var *intricatum* et *Helianthemum kahiricum*

Pour aborder l'étude de ces groupements nous nous sommes basés sur un certain nombre "d'attributs vitaux" au sens d'Odum (1969), à savoir:

- la richesse floristique en espèces pérennes;
- la richesse floristique en espèces annuelles;
- la richesse floristique en espèces "clés de voûte"
- le recouvrement de la végétation;
- l'état de la surface du sol.

Les attributs vitaux sont définis comme étant les caractéristiques ou attributs qui sont corrélés et peuvent servir d'indicateurs de la structure et du fonctionnement d'un écosystème (Aronson et al., 1995). Les espèces "clés de voûte" sont celles dont la présence, à une certaine densité, est nécessaire au maintien de la structure et du fonctionnement de l'écosystème. Notons que certaines espèces annuelles sont considérées comme espèces "clés de voûte" (cas de *Plantago albicans*), par contre certaines espèces pérennes ne le sont pas (cas d'*Artemisia campestris*).

Les résultats des relevés floristiques effectués dans les 9 transects de la réserve de Haddej sont consignés au tableau III.

La flore regroupe plusieurs attributs vitaux qu'on peut discuter et interpréter à partir de l'ensemble des données des tableaux III, IV, V et VI.

4.4.1. Evolution et dynamique de la diversité floristique

La diversité floristique de la réserve de Haddej (Tab. IV et V), après 6 années de protection, est composée en moyenne de 23 espèces dont 17 annuelles et 6 pérennes. Les espèces "clés de voûte" sont au nombre de 7. En terme de pourcentages, cette diversité se traduit par 73,6 % d'annuelles et 26,4 % de pérennes. Les espèces "clés de voûte" représentent 30,4 % de la composition floristique totale. Selon les caractéristiques édaphiques, la diversité floristique est de 35 espèces (30 annuelles et 5 pérennes) sur les sols sableux et 10 espèces (6 annuelles et 4 pérennes) sur les sols limoneux compacts.

Tableau III. Richesse floristique de la réserve de Haddej après 6 années de protection

	Effectif	% de l'effectif total
Nombre total d'espèces	23 ± 7	-
Nombre d'espèces annuelles*	17 ± 8	73,9
Nombre d'espèces pérennes	6 ± 3	26,1
Nombre d'espèces clés de voûte	7 ± 4	30,4
Nombre total d'espèces. m ⁻² **	10 ± 5	-
Nombre d'espèces annuelles. m ⁻²	7 ± 4	70,0
Nombre d'espèces pérennes. m ⁻²	3 ± 2	30,0
Nombre d'espèces clés de voûte. m ⁻²	3 ± 2	30,0

Légendes

* thérophytes + géophytes + Hémicryptophytes ** densité

La diversité floristique des espèces pérennes est généralement faible (7 espèces en moyenne). Mais elle pourrait presque atteindre la moitié de la flore de la réserve et ce dans les situations édaphiques favorables (sols d'apports alluviaux) ou nous avons dénombré 10/24 à 11/23 d'espèces (nombre d'espèces pérennes/ nombre total d'espèces).

Tableau IV. Relevés floristiques dans la réserve de Haddej après 6 années de protection (mi-janvier début mars 1996)

Espèces \ Transects	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<i>Daucus carota</i>	o								
<i>Diplotaxus simplex</i>	o	25,2				o			
<i>Echiochilon fruticosum</i>	6*								
<i>Medicago truncatula</i>	+		o	38	++		++	++	
<i>Hypocrepis bicontorta</i>	6,5	+		+	+				
<i>Launea nudicaulis</i>	+	30,5		+	o				
<i>Launea quercifolia</i>		o							
<i>Launea residifolia</i>	o	20				o			
<i>Cynara cardunculus</i>	o								
<i>Plantago albicans</i>	++				o		o	o	
<i>Rhanterium suaveolens</i>	6,7								
<i>Cynodon dactylon</i>	++	+		87,5	++		31,2	++	
<i>Paronychia arabica</i>	++	+			o				
<i>Ifloga spicata</i>	o	+							
<i>Asphodelus tenuifolius</i>	8	26		+	+		o	12	0
plantule non identifiée	+			o					
<i>Atractylis serratuloides</i>	o		o		+	o		+	
<i>Matthiola longipitala</i>	+								
<i>Atractylis flava</i>	o							o	
<i>Emex spinosus</i>	o	8	o						
<i>Enarthrocarpus clavatus</i>	8,2	+		+					
plantule non identifiée	o								
<i>Silene gallica</i>				o					
<i>Astragalus cruciatus</i>	++	++	++	+	o	+	+		++
<i>Allium rosaium</i>	o								
<i>Cenchrus ciliaris</i>	o		o	o	30,5	+		18,7	
plantule non identifiée	o								
<i>Stipa retorta</i>	++	+	36,2		o	21	o	45,5	+
<i>Senecio gallicus</i>	+				o			o	
<i>Helianthemum sessiliflorum</i>	++				++	++			++
plantule non identifiée	o	o							

Légendes

en gras les espèces pérennes o= recouvrement < 1 % +=1 % < recouvrement < 3 % ++=3 % < recouvrement < 6 %

*chiffre (exemple 6) = recouvrement en %

Tableau III bis. Relevés floristiques de la réserve de Haddej après 6 années de protection (mi-janvier début mars 1996)

Espèces \ Transects	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<i>Neurada procombens</i>	o								
<i>Shismus barbatus</i>	o	7,2			o				
<i>Astragalus tenuifoliosus</i>		++	+		o	+	+		
<i>Euphorbia retusa</i>	o				+				
<i>Plantago ovata</i>		13,7			o				
<i>Anacyclis cyrtolepidioides</i>	++	7,2	o	6,5	o				
<i>Artemisia campestris</i>		++							
<i>Asphodelus refractus</i>						+			
<i>Malva aegyptiaca</i>		+			o				
plantule non identifiée	o	+			o	o			
<i>Salvia aegyptiaca</i>			o	o	+	o			++
<i>Volutaria lippii</i>		+		o					
<i>Erodium triangulare</i>		+							
<i>Medicago minima</i>	o	+		o				++	
<i>Koelpinia liniaris</i>		o							
<i>Erodium arborescens</i>		o							
<i>Adonis dentata</i>		o							
<i>Lotus creticus</i>		o	o		+	o	o	8,2	
<i>Pituranthos tortuosus</i>		+		+	7,5		16	++	
<i>Astragalus armatus</i>					6	++		19	
<i>Limonium sinuatum</i>		o		+					
<i>Arthrophytum scoparium</i>			++			+			
plantule non identifiée			+						
<i>Filago germanica</i>			+			o		o	
<i>Arthrophytum schmittianum</i>			o					12,5	
<i>Fagonia cretica</i>						o			
<i>Echium pycnanthum</i>			o			o			
<i>Fagonia glutinosa</i>			+			+		o	
<i>Scorzonera undulata</i>			o			o			
<i>Anagalis arvensis</i>				+					
<i>Argyrolobium uniflorum</i>				+	+	o	++	o	
<i>Ononis serrata</i>				o					
<i>Rumex vesicarius</i>				+					
plantule non identifiée				o					

Tableau III bis. Relevés floristiques dans la réserve de Haddej après 6 années de protection (mi-janvier début mars 1996)

<i>Especies \ Transects</i>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<i>Stipa parviflora</i>					o				
<i>Cutandia divaricata</i>					o				
<i>Aristida obtusa</i>					+	++			
<i>Aristida ciliata</i>					+			+	
<i>Helianthemum kahiricum</i>						++		o	17,5
<i>Gymnocarpus decander</i>						+		o	
<i>Asterescus pygmius</i>						+			+
<i>Onopordon arenarum</i>							+	++	
<i>Erodium glaugophyllum</i>							o		o
<i>Marrubium deserti</i>							+		
<i>Centaurea furfuracia</i>							o		
<i>Salsola vermiculata</i>								o	
<i>Aristida plumosa</i>								+	
<i>Salvia verbinaca</i>		o					o		
<i>Helianthemum intrictum</i>									17
<i>Trigonella stellata</i>									o
Nbre total d'espèces	35	31	17	21	29	24	15	23	10
" d'espèces annuelles	30	29	12	17	19	14	12	12	6
" " pérennes	5	2	5	4	10	10	3	11	4
" " Clés de voûte	6	2	6	3	11	11	4	12	4
Recouvrement global (%)	80,7	100	53,5	100	77,5	50,5	63,7	100	49,0
Recouvr. des annuelles* (%)	61,8	93,6	45,9	95,4	22,2	32,0	40,2	36,6	7,3
" des pérennes (%)	18,9	6,4	7,6	4,6	55,3	18,5	23,5	63,4	41,7
" espèces clés de voûte** (%)	23,1	6,6	7,8	4,6	58,3	18,9	25,9	72,3	41,7

Légendes

* thérophytes + géophytes + Hémicryptophytes

La densité des espèces au mètre carré est en moyenne de 10 dont 7 annuelles (70 %) et 3 pérennes (30 %). Les espèces "clés de voûte" ont une densité de 3 espèces.m⁻².

Avant la mise en protection la diversité floristique, dans le même endroit de la réserve actuelle, a été décrite par Schoenenberger (1990) ainsi qu'il est reporté dans le tableau V. Cette diversité ou richesse floristique était comme suit:

-9 espèces dont 7 annuelles et 2 pérennes, soit en terme de pourcentage 77,8 % d'espèces annuelles et seulement 22,2 % d'espèces pérennes;

-3 espèces (33,3 % de la flore) dites "clés de voûte".

L'évolution de la diversité floristique, au cours de 6 années de mise en protection, a permis une dynamique progressive du cortège floristique. En effet, 14 nouvelles espèces se sont rajoutées à la flore dont 10 annuelles et 4 pérennes qui sont en même temps espèces "clés de voûte".

Tableau V. Richesse floristique de la réserve de Haddej, 6 ans avant sa mise en protection (d'après Schoenenberger, 1990)

	Effectif	% de l'effectif total
Nombre total d'espèces	9	-
Nombre d'espèces annuelles*	7	77,8
Nombre d'espèces pérennes	2	22,2
Nombre d'espèces "clés de voûte"	3	33,3

Légendes

* thérophytes + géophytes + Hémicryptophytes ** densité

Malgré une pluviométrie supérieure à la normale au cours de l'année 1995 (303 mm), la résilience de la végétation pourrait se qualifier de lente. La faible vitesse de cicatrization de la végétation de la forêt de "gommier" s'explique par:

- les années sèches qui se sont succédées depuis la mise en protection (1990);
- la pression anthropique forte sur la végétation et surtout sur les espèces "clés de voûte" qui constituent les semenciers, mais qui sont les plus utilisées pour les besoins quotidiens (chauffage, pacage, etc.);
- le compactage du sol dû au piétinement depuis fort longtemps, entraînant une diminution de l'infiltration des eaux et de l'enfouissement des semences.
- la dominance de certaines espèces (cas de *Cynodon dactylon* et de *Ziziphus lotus*) dans certains endroits (dépression lits des oueds) a entravé la régénération des espèces "clés de voûte"

4.4.2. Evolution et dynamique du couvert végétal

Le recouvrement de la surface du sol, de la réserve de Haddej, par la strate herbacée est en moyenne de 75 % au pic saisonnier de la végétation active et pour une année pluvieuse (Tab. VI). Ce recouvrement varie, d'ailleurs, selon les situations géomorphologiques, de 49 % dans les sols limoneux compacts à 100 % dans les bas fonds, les dépressions et les lits d'oueds (Tab. VI).

Tableau VI. Recouvrement de la strate herbacée dans la réserve de Haddej après 6 années de protection et pour une année pluvieuse (P = 303 mm)

	Recouvrement (en %)	% du Recv. global
Recouvrement global	75,0	-
Recouvrement des annuelles	48,3 ± 28,4	64,4
Recouvrement des pérennes	26,6 ± 20,5	35,6
Recouvrement d'espèces clé de voûte	28,9 ± 22,6	38,5

Les recouvrements moyens des espèces annuelles et des pérennes sont respectivement de 48,3 % et 26,6 %. Les espèces "clés de voûte" ont une couverture de 28,9 %.

La couverture végétale globale est constituée de 64,4 % d'annuelles et de 35,6 % de pérennes. D'après Schoenberger (1990), le recouvrement des différentes catégories d'espèces dans la forêt de « gommier » fut celui représenté au tableau VII.

Tableau VII. Recouvrement de la strate herbacée, 6 années avant la protection (d'après Schoenberger, 1990)

	Recouvrement (en %)	% du Recv. global
Recouvrement global	39,8	-
Recouvrement des annuelles	30	75,4
Recouvrement des pérennes	9,8	24,6
Recouvrement d'espèces "clés de voûte"	10,7	26,9

L'évolution du couvert végétal de 1990 à 1996, dans la forêt de "gommier" est significativement positive, la dynamique est donc progressive. En effet, il y a une amélioration de 35,2 % du recouvrement global entre les deux périodes. Cette amélioration de la couverture végétale est respectivement de 10,3 %, de 16,8 % et de 18,2 % pour les espèces annuelles, les pérennes et les espèces "clés de voûte". Cette dynamique évolutive est due pour les espèces annuelles aux précipitations importantes de la saison agricole 1995/1996 et à la protection, outre les précipitations, pour les espèces pérennes et "clés de voûte".

4.4.3. Etat de la surface du sol

Avant la protection, la surface dénudée représente 60,2 %. cette surface non couverte par la strate herbacée n'est que de 25 % après 6 années de protection et pour une année pluvieuse. Cependant, si on ne prend en considération que les espèces herbacées pérennes qui sont présentes toute l'année, la surface du sol nue est respectivement de 9,8 % et 26,6 % pour les périodes avant et après la protection.

En raison des caractéristiques physiques des sols (compacts, présence de pellicule de battance) et la situation géomorphologique de la forêt de "gommier" de la Tunisie (plaine, glacis), les processus de l'érosion hydrique et éolienne prennent de plus en plus d'ampleur:

- voile éolien couvrant les sols anciennement cultivés;
- érosion hydrique sous forme de griffes et ravins

5. Conclusion

Les ressources naturelles (eau, sol et végétation spontanée), dans l'aire naturelle actuelle de la forêt de "gommier" de Tunisie, sont très limitées. Elles sont soumises depuis fort longtemps, à une forte et persistante action anthropique. Cette pression est de plus en plus importante, vu les besoins d'une population galopante. Les conséquences sur les ressources naturelles et particulièrement sur la forêt de "gommier" et les sols sont nombreuses. En effet dans la zone non protégée, la forêt de "gommier" se caractérise par une impossibilité biologique de la régénération naturelle malgré une bonne capacité de résistance des arbres âgés vis à vis des perturbations anthropiques. Son évolution est presque bloquée. La structure irrégulière du peuplement d'*A. tortilis* témoigne d'une faible capacité de régénération, en dépit d'une assez bonne capacité de résilience de la strate arborescente.

L'élimination des perturbations externes, principalement anthropique, a permis à la forêt de "gommier" de se reconstituer plus au moins rapidement. En effet après une protection de 6 années (Cas de la réserve de Haddej), la structure du peuplement d'*A. tortilis* a évolué d'une structure irrégulière, résultant des perturbations externes, vers une structure jardinée caractéristique d'un peuplement forestier naturel.

Il semble, donc, que la capacité de stabilité de cet écosystème soit bonne et que sa résilience soit possible et relativement rapide en absence de perturbation anthropique.

Le cortège floristique de la forêt de "gommier", s'est aussi reconstitué. Toutefois sa vitesse de cicatrisation est relativement lente, malgré une importante couverture végétale, composée essentiellement d'espèces annuelles, réapparue à la faveur d'une année pluvieuse. En effet, la richesse floristique en espèces pérennes reste, malgré 6 années de protection, encore faible en raison de la disparition des espèces "clés de voûtes" dont la présence, à une densité suffisante, est nécessaire au maintien de la structure et du fonctionnement de l'écosystème.

Les mutations que connaissent les systèmes d'exploitation, le mode de vie de la population usagère, et les efforts de développement socio-économique, notamment par la mise en valeur agricole de l'aire naturelle de la forêt de "gommier" sont les facteurs qui menacent le plus la pérennité de cette forêt. La diversité floristique, hors la zone protégée, est très faible et les espèces "clés de voûte" sont en voie de disparition. La stabilité du peuplement d'*A. tortilis*, jusqu'à nos jours, est constamment menacée par des coupes à des fins d'utilisation ou d'extension des zones cultivables. Les bonnes espèces pastorales n'existent presque plus et la résilience de l'unique écosystème sylvo-pastoral de la Tunisie présaharienne est bloquée.

Pour sauvegarder ce patrimoine génétique d'une disparition complète, la protection ou création de réserves de biosphère n'est pas la solution adéquate. En effet les superficies protégées, d'ailleurs très minimales par rapport à l'aire occupée par *A. tortilis* en Tunisie, ne pourrait pas répondre aux critères d'une utilisation rationnelle des ressources naturelles. Ainsi ces zones seront sous-exploitées. En revanche, celles non protégées seront surexploitées. Ces deux situations extrêmes aboutiront un jour à la disparition de cet écosystème en raison de son incapacité d'autorégénération. D'autres scénarios sont plus efficace pour protéger, d'une part, la forêt de "gommier" de la disparition et améliorer, d'autre part, le niveau de vie de la population usagère et en intégrant aussi bien les forêts existantes que celles nouvellement créées dans les programmes de développement socio-économiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akrimi, N., 1984 -Relation entre production et sols dans la pineraie de Sakiet Sidi Youssef (Tunisie septentrionale). *Thèse Doc. ès Sci. Nat. Univ. Aix-Marseille III*, 179 p.
- Aronson, J., Floret, Ch., Le Floch, E., Ovalle, C., Pontanier, R., 1995 -Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zone aride et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts. *In l'homme peut-il refaire ce qu'il a défait. Edit. John Libbey Eurotext, Paris*, pp. 11-29.
- Blanc, E., 1889 -La forêt de Gommier du Bled Talah. *Revue Eaux et Forêts, 2ème Série, 3*, pp. 49-59.
- Brenan, J.P.M., 1983 -Manuel sur la taxonomie des espèces d'Acacias. *FAO, Rome*, 53 p.
- C.C.E., 1993 -Réhabilitation des terres dégradées au nord et au sud du Sahara. Utilisation des légumineuses pérennes et des micro-organismes associés pour l'établissement de formations pluristrates. Rapport annuel du projet CCE " Contrat TS III * CT92-0047". *Pub. ORSTOM Dakar*, 81 p.
- De Chaigon, H., 1905 -Excursion à la forêt de Gommier du Bled Talah. *Bull. Soc. Hist. Nat., n° 18*, pp. 117-157.
- Decourt, N., 1973 -Production primaire, production utile. Méthode d'évaluation, indice de productivité. *Ann. Sci. Forest., 30 (3)*, pp. 219-239.
- Doumet-Adanson, M., 1874 -Note sur l'*Acacia* gommifère de la Tunisie. *C.R. Acad. Sc. Paris, 79 n° 21*, pp. 1175-1178.

- El Hamrouni, A., 1992 -Végétation forestière et préforestière de la Tunisie. Typologie et éléments pour la gestion. *Thèse Doc. ès Sci. Nat. Univ. Aix-Marseille III*, 300 p.
- FAO, 1982 -Dispositifs expérimentaux pour les essais d'essences et de provenances. Mise en place, évaluation. Document d'instruction de base II. *Projet FAO sur les ressources génétiques des zones arides et semi-arides. FORM/9/19980*, 20 p.
- Floret, Ch., 1988 -Méthodes de mesure de la végétation pastorale. Pastoralisme et développement. *I.A.V. Hassen II Rabat/I.A.M. Montpellier*, 157 p.
- Goodall, D.W., 1952 b -Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of végétation. *Aust. J. Sc. Res., Ser. B* 5, pp. 1-14.
- Goodall, D.W., 1953 c -Point quadrat methods for the analysis of vegetation. The treatment of data for tussock grasses. *Aust. J. Bot.* 1, pp. 457-461.
- Gounot, M., 1969 -Méthodes d'étude quantitative de la végétation. *Ed. Masson et Cie*, 314 p.
- Lavauden, L., 1927 -Les forêts du sahara. *Revue Eaux et Forêts, LXV* 6, pp. 265-277 et *LXV* 7, pp. 329-341.
- Le Houerou, H.N., 1959 -Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. **1ère partie**: Les milieux naturels et la végétation, 281 p. **2ème partie**: La flore, 277 p. *Inst. Rech. Sah. Alger*.
- Le Houerou, H.N., 1969 -La végétation de la Tunisie steppique, avec référence au Maroc, à l'Algérie et à la Libye. *Ann. I.N.R.A. Tunisie. Vol. 42, Fasc. 5*, 622 p.
- Long, G., 1954 -Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale. *Ann. Serv. Bot. Agron. Tunisie*, 27, 388 p.
- Long, G., 1958 -Description d'une méthode linéaire pour l'étude de l'évolution de la végétation. *Bull. Serv. Carte Phytogéog. Série B*, 2, pp. 107-127
- Monod, Th., 1974 -Notes sur quelques Acacias d'Afrique et du Proche-Orient. *Bull. Inst. Afri. Noire Tome XXXVI, Série A, n° 3*, pp. 650-669.
- Odum, E.P., 1969 -The strategy of ecosystem development. *Science*, 164 p.
- Parde, J., 1961 -Dendrométrie. *Impr. Louis-Jean, Gap*, 350 p.
- Pellissier, E., 1853 -Description de la régence de Tunis. In *Exploration Scientifique de l'Algérie, pendant les années 1840/41/42. Sci. Hist. Géog., XVI. Impri. Impér. Paris. 2ème édit. Bouslama, Tunis, 1980. Vol. 1*, 455 p.
- Peters, J., 1974 -Cours d'inventaire. *E.N.F.I. Salé (Maroc)*, 264 p.
- Peyrouton, M., 1936 -Le Parc des Gommiers du Bled Talah. *Bull. Soc. Intern. Amis des arbres Tunis*, 30 (99), pp. 51-53.
- Schoenenberger, A., 1990 -Relevés des transects et de la végétation des Parcs Nationaux de Bouhedma et Sidi Toui. *Direction Générale de Forêts/GTZ*, 114 p.

ETUDE DES CARACTERISTIQUES GERMINATIVES DES SEMENCES DE QUELQUES LEGUMINEUSES SPONTANÉES DE LA TUNISIE STEPPIQUE

M. NEFFATI* et N. AKRIMI**

*Institut des Régions Arides 4119 Médenine-Tunisie

** Institut National Agronomique 43 AV. Charles Nicolle-Tunis

RESUME

Les performances germinatives des semences de neuf légumineuses autochtones pérennes ont été étudiées sous l'effet de différents facteurs affectant la germination. Les espèces étudiées sont *Acacia raddiana* Savi, *Anthyllis sericea* Lag. Ssp, *henoniana* (coss.) Maire, *Argyrolobium uniflorum* Jaub. et Spach, *Astragalus armatus* Willd, *Astragalus gombiformis* Pom., *Ebenus pinnata* Ait., *Lotus creticus* L. Subsp. *cytisoides* (L) Asch., *Ononis natrix* L. Ssp. *Filifolia* Murb. et *Retama raetam* (Forsk.) Webb.

La germination de ces espèces a été suivie sous l'effet des facteurs thermique et hydrique et sous l'effet de la lumière. Des prétraitements destinés à lever les inhibitions tégumentaires, ont été appliqués aux semences des espèces présentant des faibles pourcentages de germination. Les capacités germinatives des semences nouvellement disséminées ont été également suivies afin de détecter la présence éventuelle de dormance.

Les résultats obtenus de cette étude ont permis de mettre en évidence la présence de téguments durs chez les deux tiers des espèces testées. Plus ou moins accentuée, en fonction des espèces, la dureté des téguments se manifeste plus ou moins précocement après la maturité morphologique des semences. L'immersion des semences, présentant des téguments durs, dans l'acide sulfurique permet d'améliorer leur capacité et leur vitesse de germination. La durée optimale de trempage et le niveau de dilution de l'acide varient en fonction des espèces et semblent être en rapport avec la dureté des téguments.

L'étude de l'effet de la température sur la germination a montré, qu'à l'exception de *R. raetam* caractérisée par un optimum thermique relativement strict (de l'ordre de 15° C) même après prétraitement des semences, la majorité des espèces étudiées est capable de germer sous une large gamme de températures. Malgré les différences évidentes entre les espèces, une température de 20°C paraît convenir à la germination de la majorité d'entre-elles.

L'étude de l'effet de la lumière sur la germination a montré que seules *A. armatus* et *E. pinnata* préfèrent germer à l'obscurité (photosensibilité négative). Les autres espèces sont indifférentes à la lumière au cours de la germination.

Caractérisée par une aptitude à la germination sous une large gamme de températures, une indifférence vis-à-vis de la lumière en phase de germination et une absence de dormance de ses semences, *A. henoniana* est l'unique espèce qui semble avoir un stock éphémère de semences dans le sol. Chez les autres espèces, plusieurs mécanismes entrent en jeu (optimum thermique strict: *R. raetam* et *A. armatus*; photosensibilité négative : *E. pinnata* et *A. armatus*; dormance embryonnaire et/ou inhibition tégumentaire : *A. uniflorum*, *A. gombiformis*...) pour éviter l'épuisement de leurs stocks semenciers dans le sol.

SUMMARY :

The seeds germinative performances of nine perennial native legumes were studied under the effect of different factors affecting the germination. The studied species are *Acacia raddiana* Savi, *Anthyllis sericea* Lag. ssp, *henoniana* (coss.) Maire, *Argyrolobium uniflorum* Jaub. et Spach, *Astragalus armatus* Willd, *Astragalus gombiformis* Pom., *Ebenus pinnata* Ait., *Lotus creticus* L. Subsp. *cytisoides* (L) Asch., *Ononis natrix* L. Ssp. *Filifolia* Murb. et *Retama raetam* (Forsk.) Webb.

The germination of these species were assessed under the effect of thermal and water factors and under the effect of light. Pretreatments destined to remove the tegumentary inhibitions were applied to species seeds presenting a low percentages of germination. The germinative capacity of the seeds newly spread were also assessed in order to detect the eventual presence of dormancy.

The results obtained from this study permitted to emphasise the presence of hard teguments in the thirds of the tested species. More or less accentuated, according to species, the hardness of the teguments appear more or less precocely after the morphological maturity of seeds. The immersion of the seeds, presenting hard teguments, in sulphur acid permit to improve their germination capacity and velocity. The optimal lasting and the soaking level of the acid vary with the species and look to be related to the teguments hardness.

The study of the effect of temperature on the germination showed that except *R. raetam* which is characterised by a relatively strict optimum of temperature (about 15°C) even after pre-treatment of seeds ; the majority of studied species were able to germ under a wide scale of temperature of 20°C look convenient to the majority of them. The study of the effect of light on the germination showed that only *A. armatus* and *E. pinnata* prefer to germ in the obscurity (negative photosensitivity). The other species are indifferent to light during the germination.

Characterised by an aptitude to germination under a wide scale of temperature, an indifference to light in germination phase and an absence of seeds dormancy, *A. henoniana* is the only species which looks have an ephemeral stock of seeds in the soil. For the other species, many mechanisms interfere (strict optimum of temperature : *R. raetam* and *A. armatus*, negative photosensitivity : *E. pinnata* and *A. armatus*, embryonic dormancy and/or tegumentary inhibition: *A. uniflorum*, *A. gombiformis* ...) to avoid the exhausting of their seeds stocks in the soil.

Mots clés : légumineuses spontanées, germination, zone aride, inhibition, dormances, semences.

INTRODUCTION :

Dans les zones arides et désertiques de la Tunisie on assiste, au cours des dernières décennies, à une régression rapide de la couverture végétale naturelle et à une perte de sa diversité biologique (LE HOUEROU, 1959 et 1969; FLORET et PONTANIER, 1982).

Cette dégradation qualitative et quantitative du couvert végétal, imputée principalement au défrichement et au surpâturage se traduit par des effets de plus en plus néfastes tant sur le plan économique (déficit en fourrage) que sur le plan écologique (dégradation du milieu physique et amplification du phénomène de la désertification).

Dans les situations où la dégradation du couvert végétal a atteint le seuil d'irréversibilité et où la régénération naturelle ne peut conduire, même à moyen terme, à la restauration de ce couvert (FLORET, 1981; NOVIKOFF 1983) le recours aux techniques dites de réhabilitation devient une nécessité. En Tunisie aride l'adoption de cette technique par le biais de la réintroduction volontaire d'espèces autochtones est, par ailleurs, justifiée par les résultats peu encourageants de la réaffectation par introduction d'espèces exotiques (ZAAFURI, 1993). L'étude des exigences germinatives des espèces "utilisables" dans la réhabilitation permet de raisonner le choix du matériel végétal le mieux adapté à la mise en oeuvre de cette technique (BELL et BELLAIRS, 1992). Les travaux antérieurs relatifs à la dynamique de la végétation en Tunisie steppique ont, en effet, mis l'accent sur l'intérêt des solutions qui doivent être recherchées pour résoudre les problèmes posés par la germination des semences (PNUD/FAO, 1979; FLORET et PONTANIER, 1982; BEN DALI 1987...). De plus, en zone aride où les caractéristiques de la germination sont fortement impliquées dans la sélection pour l'adaptation des végétaux aux conditions du milieu (KOLLER, 1955; JORDAN et HAFERKAMP, 1989) on peut admettre que la première phase critique de la réhabilitation est celle relative à la germination des semences des espèces à réintroduire.

C'est pour toutes ces raisons que le présent travail a été consacré à l'étude des propriétés germinatives des semences de neuf légumineuses autochtones pérennes susceptibles d'être utilisées pour la réhabilitation des parcours dégradés. Le choix des légumineuses a été dicté par l'importance du nombre d'espèces appartenant à cette famille en Tunisie et par l'intérêt particulier que peuvent présenter ces espèces pour l'amélioration de la valeur des terres à pâturage. Ce travail a pour objet l'étude de l'effet des principaux facteurs affectant la germination des semences. Il s'agit principalement de :

- la température qui est, d'après PROBERT (1992), le plus important facteur environnemental responsable de la synchronisation de la germination;
- l'eau, dont la disponibilité constitue le facteur le plus important affectant la germination et l'établissement des plantules dans les régions arides et semi-arides (SHARMA, 1973; GROUZIS, 1987);
- la lumière, qui est l'un des principaux facteurs contrôlant la dormance des semences (COME, 1970; SIMPSON, 1990; PONS, 1992) et influençant, par conséquent, la germination.

S'agissant de légumineuses spontanées connues par leurs forts taux de graines dures (BEHAEGHE et BLOUARD, 1962; CLATWORTHY, 1984 ; VORA, 1989) des prétraitements destinés à lever d'éventuelles inhibitions tégumentaires ont été appliqués aux semences des espèces présentant des faibles pourcentages de germination. La mise au point de techniques de prétraitement est en effet indispensable pour améliorer le taux de germination des semences avant leur utilisation pour le resemis de parcours ou leur mise en germination en pépinière. Par ailleurs, et afin de détecter la présence éventuelle de dormance, il a été procédé au suivi de l'évolution de la capacité germinative des semences durant la phase de leur post-maturation.

Matériel et Méthodes

Espèce étudiées, traitements appliqués à leurs semences.

L'étude a porté sur neuf espèces pérennes appartenant à la famille des légumineuses et réparties sur quatre types biologiques : les chaméphytes (6 espèces); les hémicryptophytes (1 espèce); les nanophanérophytes (1 espèce) et les phréatophytes (1 espèce). La répartition des espèces étudiées sur les différents types biologiques ainsi que les caractéristiques de leurs semences sont consignées au tableau 1.

Tableau 1 : Liste des espèces étudiées et quelques caractéristiques de leurs semences.

Espèce	Type biologique *	Nature de l'unité de dispersion	Poids de 1000 graines (g)	Mode de dissémination**
<i>Acacia raddiana</i> Savi	Ph.	Fruit (gousse à plusieurs graines)	67,252	Ed.
<i>Anthyllis sericea</i> Lag. Ssp <i>henoniana</i> (coss.)Maire	Ch.	Fruit (gousse à une seule graine)	3,720	An.
<i>Argyrolobium uniflorum</i> Jaub. et Spach	Ch.	graine	1,750	Cl.
<i>Astragalus armatus</i> Willd.	Ch.	Fruit (gousse incluse dans le calice et renfermant une seule graine)	9,360	An.
<i>Astragalus gombiformis</i> Pom.	Ch.	Fruit (gousse à plusieurs graines)	21,870	An.
<i>Ebenus pinnata</i> Ait.	Ch.	Fruit (gousse à une seule graine incluse dans le calice à longues divisions plumeuses)	3,724	An.
<i>Lotus creticus</i> L. Subsp. <i>cytisoides</i> (L) Asch.	H.	graine	0,895	Cl.
<i>Ononis natrix</i> L. Ssp. <i>filifolia</i> Murb.	Ch.	graine	1,803	Cl.
<i>Retama raetam</i> (Forsk.)Webb.	N.	graine incluse dans la gousse	64,713	Ed.

* : Ch : chaméphytes; H. : hémicryptophytes; N. : nanophanérophytes; Ph. : Phréatophytes.

** : An. : anémochorie; Cl. : clitochorie (dispersion par gravité); Ep. : épizoochorie; (dissémination par les animaux); Ed. : endozoochorie.

Quelle que soit la nature de l'unité de dispersion des espèces étudiées, les essais de germination n'ont porté que sur des graines intactes caractéristiques de l'espèce à maturité.

Plusieurs traitements ont été appliqués aux semences des espèces étudiées. Pour une même espèce, ces traitements n'ont pas été toujours appliqués aux mêmes lots de semences. Au tableau 2 nous rapportons l'âge (en mois) des lots de semences, au moment de l'incubation, utilisées pour les différents traitements.

Tableau 2 : Récapitulatif des tests appliqués aux semences des différentes espèces étudiées et âges (en mois) des semences au moment de l'incubation.

Espèces	Effet de la température	Effet du stress hydrique	Effet de la lumière	Prétraitement
<i>A. raddiana</i>	16	19	18	18
<i>A. henoniana</i> **	12	8	32	8
<i>A. uniflorum</i> **	12	20	*	12
<i>A. armatus</i>	8	32	18	6
<i>A. gombiformis</i> **	12	32	18	6
<i>E. pinnata</i> **	8	32	18	6
<i>L. creticus</i> **	20	32	20	12
<i>O. natrix</i> **	8	32	18	20
<i>R. raetam</i>	16	44	18	20

* test non appliqué ** espèces dont les semences ont fait l'objet d'étude de dormance

Avant leur utilisation, les semences ont été conservées dans des paquets en papier kraft dans les conditions ambiantes du laboratoire.

Pour l'étude de l'effet des facteurs thermique et hydrique et de l'effet de la lumière les essais de germination ont porté sur des semences ayant subi le meilleur prétraitement déterminé par la quatrième expérience. Pour l'étude du facteur thermique, des températures variant entre 5 et 40°C ont été testées de 5 en 5 degrés. Les essais des prétraitements et ceux relatifs à l'étude des effets du stress hydrique et de la lumière se sont déroulés à une température de 20°C qui est la plus proche de la température optimale pour la majorité des espèces étudiées (première expérience).

Dans le cas des essais relatifs à l'influence du facteur hydrique sur la germination, différents niveaux de potentiel hydrique ont été simulés par des solutions de polyéthylène glycol 6000 (PEG 6000) de concentrations croissantes. Le choix de cet agent osmotique a été justifié par plusieurs études antérieures (POTTER *et al.*, 1986; CARDINA et HOOK, 1989; BOYDSTON, 1989...).

Les concentrations en PEG 6000, simulant les différents niveaux de potentiel hydrique testés et calculées sur la base de l'équation formulée par MICHEL et KAUFMANN (1973) à la température d'incubation (20°C) sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Concentration en PEG 6000(g/l) à tous les niveaux de potentiel hydrique testés (bar) pour la température de 20°C.

Potentiel hydrique(bar)*	Témoin	-1	-3	-7	-10	-16
concentration en PEG 6000(g/l)	0	72,49	143,20	232,99	284,02	366,95

* 1 bar = 0,1 MPa

Les prétraitements suivants ont été appliqués aux semences présentant des faibles taux de germination en vue de lever les éventuelles inhibitions tégumentaires :

- témoin = aucun traitement;
- immersion dans l'eau bouillante jusqu'à refroidissement (Eb);
- immersion dans l'acide sulfurique pur pendant 15 mn (H1); 30 mn (H2); 1 heure (H3); 1 heure 15 mn (H4); 1 heure 30 mn (H5) et 2 heures (H6);
- immersion dans l'acide sulfurique à 70% pendant une heure (h1), deux heures (h2) et six heures (h3).

Pour l'étude de la dormance des semences, il a été procédé au suivi de la capacité germinative de deux types de semences, au cours des premiers mois après leur collecte :

- des semences intactes;
- des semences ayant subi le meilleur prétraitement.

Essais de germination : Conditions expérimentales.

Les semences des espèces étudiées ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri en verre de 9 cm de diamètre où étaient disposées deux couches de papier filtre humectées avec 4 cm³ d'eau distillée ou avec 10 cm³ de solution PEG 6000 pour la simulation de la sécheresse. Dans le cas de ce dernier essai il a été procédé à l'utilisation d'une couche de billes de verre de 2 mm de diamètre sous les deux couches de papier filtre et à l'addition, lors des dénombrements de germination, d'un ml d'eau par boîte de Pétri pour compenser

l'évaporation. Fonction uniquement de la température d'incubation (PALE, 1982) la quantité d'eau évaporée a été déterminée auparavant par DORGHAM (1989).

Au niveau de l'ensemble des traitements, chaque essai a porté sur 200 graines réparties sur quatre répétitions de 50 semences chacune. La durée des essais a été de 15 jours au cours desquels des comptages des graines germées et dont la radicule perceait les téguments (COME, 1970) étaient effectués tous les deux jours. Les essais se sont déroulés à l'obscurité sauf dans le cas de l'étude de l'effet de la lumière durant laquelle la moitié des traitements a été exposée à une lumière continue apportée par huit tubes à néon donnant une intensité d'éclairement de 4400 lumen m⁻².

*** Méthodes d'expression des résultats. Analyses statistiques.**

Parmi les nombreux paramètres permettant d'exprimer les résultats relatifs à la germination des semences et mentionnés dans la littérature (SCOTT et al., 1984), nous nous sommes limités, dans le cadre de cette étude à l'utilisation du pourcentage de germination, du temps moyen de germination (TMG en jours) et des taux de graines dures, de semences pourries ou à germination anormale. Pour la signification des termes relatifs à la germination et à ses obstacles nous nous référons à la terminologie proposée par COME (1968, 1970 et 1975a).

Pour pouvoir comparer les moyennes des capacités germinatives obtenues au niveau des différents traitements nous avons procédé à des analyses de variance et à la comparaison des moyennes par le test de Newman Keuls au seuil de 5% si la valeur du F de l'analyse de variance est significative au seuil P = 0,05. Sur les figures, les valeurs ayant le même indice appartiennent au même groupe homogène d'après le test précité.

Résultats

Les résultats concernant le comportement germinatif des différentes espèces en terme de capacité germinative et de temps moyen de germination, sous l'effet des différents traitements, apparaissent sur les figures de 1 à 7.

- Effet de la température sur la germination :

L'analyse des données de la figure 1, illustrant l'effet des différentes températures testées sur le comportement germinatif des espèces étudiées, permet de dire que celles-ci réagissent différemment vis-à-vis du facteur thermique au moment de leur germination.

De par leur aptitude à germer en-deçà ou au delà des limites de l'intervalle des températures expérimentées (5-40°C) les espèces étudiées se répartissent sur les quatre catégories suivantes :

- espèces dont la germination ne peut se produire en dehors de l'intervalle de températures expérimentées. Il s'agit d' *A. gombiformis*, de *R. raetam* et d' *A. armatus*
- espèces qui germent en - deçà et au delà des limites de cet intervalle : *A. uniflorum* et *A. henoniana*
- espèces dont la germination ne dépasse les limites de cet intervalle que du côté des températures basses comme *L. creticus*, *E. pinnata* et *O. natrix*.
- espèces dont la germination ne dépasse les limites de cet intervalle que du côté des fortes températures comme *A. raddiana*.

Pour la même espèce, le taux de germination varie avec la température. A l'exception de *R. raetam* dont l'optimum thermique de germination se situe aux alentours de 15°C, une température de 20°C semble convenir à la germination de toutes les autres espèces même si certaines parmi-elles préfèrent germer à des températures plus basses (les deux *Astragalus*) ou plus élevées (*A. raddiana*). La prise en compte de la signification statistique des différences entre ces taux, d'une part et du temps moyen de germination d'autre part permet de définir les températures optimales de germination des espèces étudiées, au sens de PROBERT, 1992 (capacité germinative maximale dans un temps relativement court).

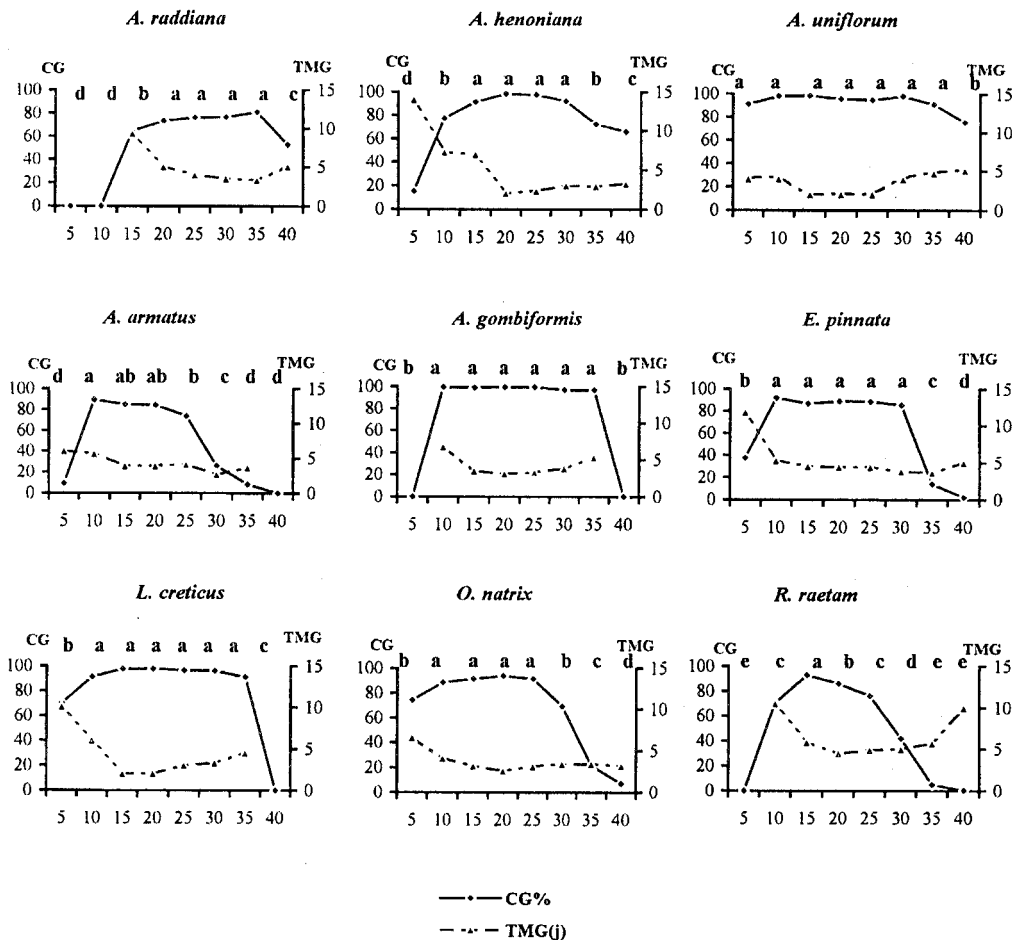


Figure 1 : Variation de la capacité germinative (CG%) et du temps moyen de germination (TMG en jours) de 9 légumineuses pastorales du sud tunisien en fonction de la température. (Les semences présentant une inhibition tégumentaire ont été prétraitées avant leur mise en incubation).

Deux de nos espèces se caractérisent par un optimum thermique strict. Il s'agit de *R. raetam* et à moindre degré d' *A. armatus*. La germination de ces espèces ne s'effectue que dans une gamme de températures relativement étroite. Il semble que la température constitue l'un des facteurs régulateurs majeurs de la germination de ces espèces. L'exigence de conditions thermiques particulières pour la germination a été mise en évidence par CORBINEAU et COME, (1980) chez diverses plantes des régions chaudes. Les autres espèces sont aptes à germer sous une large gamme de températures. Parmi ces espèces, *A. raddiana* se caractérise par le rapprochement de l'intervalle de son optimum thermique du côté des fortes températures (>20°C) alors que chez *O. natrix*, cet intervalle est surtout proche des faibles températures (<25°C).

Les courbes relatives au temps moyen de germination (TMG) montrent que la vitesse de germination diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des températures permettant d'obtenir les plus forts taux de germination et que cette diminution de vitesse est généralement plus importante pour les températures les plus basses que pour les températures les plus élevées.

- Effet du potentiel hydrique sur la germination

L'examen de la figure 2 représentant l'évolution du taux et du temps moyen de germination en fonction du potentiel hydrique montre que, quelle que soit l'espèce considérée, l'abaissement du potentiel hydrique entraîne une réduction non seulement de la capacité germinative mais aussi de la vitesse de germination. Au potentiel hydrique de -16 bars, qui correspond au point de flétrissement permanent des végétaux cultivés, la capacité germinative est pratiquement nulle pour la majorité des espèces étudiées. A ce niveau de potentiel hydrique de faibles taux de germination ont été, cependant, enregistrés chez *A. gombiformis* (2,5%) et chez *E. pinnata* (2,75%). Chez *A. raddiana* la germination s'annule pratiquement à -7 bars. Chez l'ensemble des espèces étudiées, aucune différence significative n'a été enregistrée entre la capacité germinative du témoin et celle obtenue à -1 bar. Chez les deux *Astragalus* aucun abaissement significatif n'a été engendré même par un potentiel hydrique de -3 bars. Parmi les espèces étudiées, *E. pinnata* s'est avérée la plus résistante au stress hydrique au moment de la germination. Cette

espèce continue à germer, à des taux comparables à celui du témoin, même à -7 bars. Toutefois, il y a lieu de mentionner qu'à ce niveau de potentiel hydrique la vitesse de germination de cette espèce a visiblement diminué.

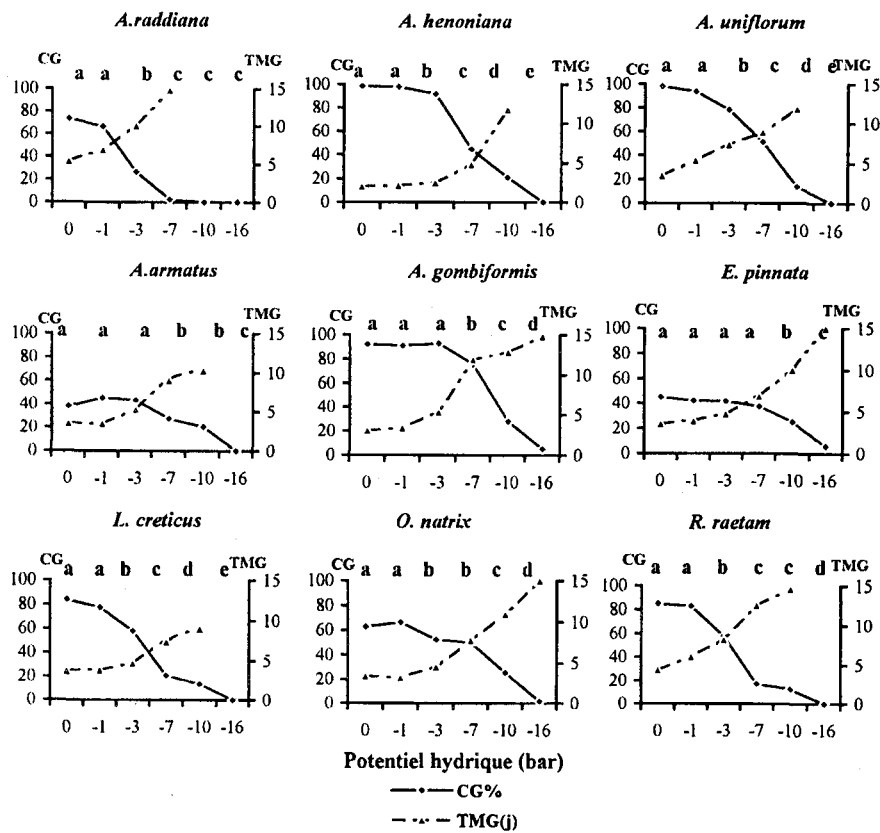


Figure 2: Variation de la capacité germinative (CG%) et du temps moyen de germination (TMG en jours) de neuf légumineuses pastorales du sud tunisien en fonction du potentiel hydrique (germination à 20°C et à l'obscurité, les semences présentant une inhibition tégumentaire ont été prétraitées avant leur mise en incubation)

Au niveau du même graphique, les traitements portant des lettres différentes sont statistiquement différents ($P < 0.05$): Test de Newman Keuls.

Les seuils de tolérance au stress hydrique enregistrés chez nos espèces sont intermédiaires par rapport à ceux indiqués dans la littérature. En effet, certains auteurs mentionnent des valeurs plus basses (SHARMA, 1973; GROUZIS, 1987). D'autres auteurs indiquent des valeurs comparables (Mc GINNIES, 1960; LONCHAMP et BARRALIS, 1983). Alors que d'autres auteurs indiquent des valeurs plus élevées (CARDINA et HOOK, 1989).

Etant donné les différences de capacités germinatives enregistrées chez les témoins des diverses espèces nous avons, pour pouvoir comparer le comportement de celles-ci, exprimé les résultats par rapport à chaque témoin (Figure 3). Cette figure montre qu'un léger stress hydrique (potentiel hydrique de -1 bar) est parfois favorable à la germination (taux de germination supérieur à celui du témoin). Ceci est vrai pour *A. armatus* et à moindre degré pour *O. natrix*.

Afin de pouvoir classer nos espèces par ordre de tolérance au stress hydrique nous avons pris la valeur intermédiaire de -7 bars comme référence. A ce niveau de potentiel hydrique les espèces ont, en effet, une grande amplitude de variation. Le classement des espèces dans un ordre de tolérance décroissant, sur la base de leurs capacités germinatives, est alors le suivant : *E. pinnata*, *O. natrix*, *A. gombiformis*, *A. armatus*, *A. uniflorum*, *A. henoniana*, *L. creticus*, *R. raetam*, *A. raddiana*.

Il s'avère ainsi que les deux espèces ligneuses hautes (*R. Raetam* et *A. raddiana*) sont les plus sensibles au stress hydrique en phase germinative. Remarquons que ces deux espèces sont également caractérisées par la grande taille de leurs semences.

- *Effet de la lumière sur la germination* :

Les résultats relatifs à la capacité germinative et à la vitesse de germination des différentes espèces étudiées, en présence et en absence de lumière, sont illustrés par les histogrammes de la figure 4. Ces données indiquent que la majorité des espèces étudiées est indifférente à l'effet de la lumière au moment de la germination. Cette indifférence a été également mise en évidence chez les semences d' *A. uniflorum* traitées à l'acide sulfurique pur pendant une heure (DORGHAM, 1989). La lumière a, cependant, inhibé d'une façon significative la capacité germinative d' *A. armatus* et d' *E. pinnata*. Ce facteur a par ailleurs, provoqué une diminution de la vitesse de germination aussi bien chez les espèces à photosensibilité négative que chez les espèces sans photosensibilité apparente. Ce même effet a été mentionné par plusieurs auteurs ayant étudié d'autres espèces (BATANOUNY & ZIEGLER, 1971; CHAVAGNAT & JEUDY, 1980; LONCHAMP & BOULET, 1989...).

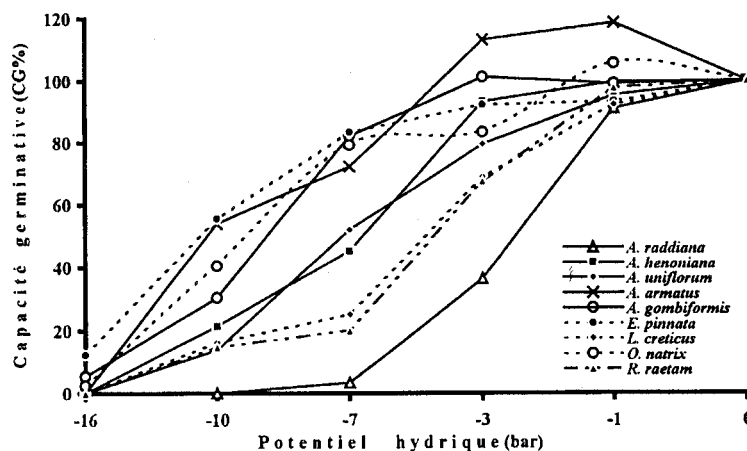


Figure 3 : Influence du potentiel hydrique sur la capacité germinative (CG%), exprimée par rapport aux témoins, des semences de neuf légumineuses pastorales du sud tunisien (germination à l'obscurité et aux températures optimales).

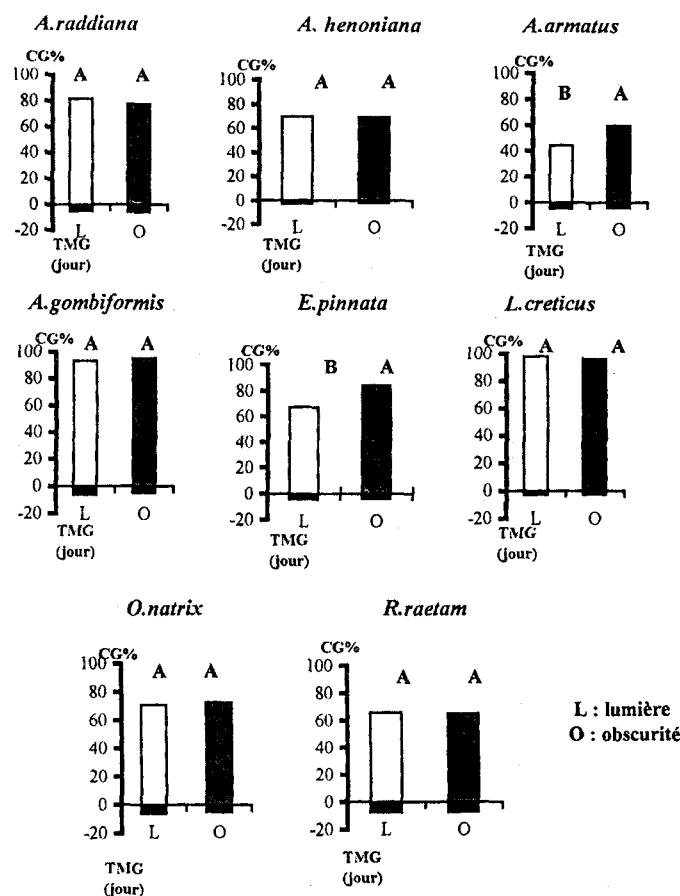


Figure 4 : Capacité germinative (CG%) et temps moyen de germination (TMG en jours) de 8 légumineuses pastorales de sud tunisien à l'obscurité (O) et en présence de lumière continue (L). (Les semences présentant une inhibition tégumentaire ont été prétraitées avant leur mise en incubation)

Au niveau du même graphique, les traitements portant des lettres différentes sont statistiquement différents ($P < 0.05$): Test de Newman Keuls.

L'indifférence vis-à-vis de la lumière, en phase germinative, observée chez les semences de l'ensemble des espèces présentant une inhibition tégumentaire, après prétraitement de celles-ci à l'acide sulfurique était également mentionnée par d'autres auteurs (KOLLER et COHEN, 1959; BOGDAN, 1977; BORGHETTI et al., 1989..).

Il semble que chez ces espèces la lumière ne joue pas un rôle régulateur de la germination. Ce rôle étant assuré, principalement par la dureté des téguments. *A. henoniana* peut également être classée parmi les espèces dont la lumière n'influence pas le comportement germinatif. Les semences de cette espèce germent, en effet, aussi bien à la lumière qu'à l'obscurité bien qu'elles ne présentent pas une inhibition tégumentaire.

Parmi les espèces étudiées il semble que la lumière ne constitue un facteur régulateur de la germination que chez *A. armatus* et *E. pinnata* puisque les semences de ces deux espèces, qui ne présentent pas une inhibition tégumentaire, sont à photosensibilité négative. Un tel comportement constitue une adaptation de ces deux espèces aux sévérités des conditions écologiques, puisque tel que cela fut suggéré par GRIME et al. (1981) et PONS (1992) la photoinhibition empêche la germination des semences placées en surface où la disponibilité en eau est plus brève qu'en profondeur.

L'analyse des résultats relatifs aux besoins en lumière des semences en rapport avec leur taille ne permet de déceler aucune corrélation entre ces deux facteurs même si, d'après PONS (1992), les petites semences sont généralement à photosensibilité positive.

Rappelons, enfin que les essais ont été effectués sous lumière continue à intensité constante et aux températures optimales de germination et que le comportement de nos espèces aurait été différent vis-à-vis de la lumière si elles avaient été testées sous d'autres températures en raison de la forte interaction entre ces deux facteurs (CHAVAGNAT et JEUDY, 1980/1981) ou sous un éclairage de durée différente (ROLLIN, 1975) ou

d'intensité différente (BATANOUNY et ZIEGLER, 1971) ou encore si l'âge des semences testées était différent (KOLLER, 1955) car ces facteurs conditionnent le besoin en lumière en phase germinative.

Inhibition et dormance

* variation de la capacité germinative des semences nouvellement disséminées.

Les variations, au cours des premiers mois après la collecte, de la capacité germinative, du temps moyen de germination, du taux de graines dures et du taux de semences pourries ou à germination anormale chez les espèces dont les semences ont fait l'objet d'étude de dormance sont représentées sur les figures 5 et 6. L'examen de ces figures permet de classer les espèces étudiées en deux catégories, en fonction de la capacité germinative de leurs semences au moment de leur maturation morphologique :

- espèces présentant une faible capacité germinative. C'est le cas d' *A. uniflorum* et

d' *A. gombiformis*. Chez cette dernière espèce des taux de germination de l'ordre de 20% ont, cependant, été enregistrés au cours du premier mois après la collecte. Remarquons que ces deux espèces présentent des taux élevés de graines dures (figure 6) qui sont à l'origine de leurs faibles capacités germinatives et que celles-ci ont été nettement améliorées par traitement à l'acide sulfurique.

- espèces présentant une capacité germinative relativement importante (>50%). Il s'agit d' *O. natrix*; *A. henoniana*, *E. pinnata* et *L. creticus*. Notons cependant que chez cette dernière espèce la capacité germinative a visiblement chuté à la fin de la période estivale. Cette diminution de la capacité germinative est en rapport avec l'augmentation du taux de graines dures observée vers la fin du mois de septembre (figure 6). L'augmentation du taux de graines dures sous l'effet de leur conservation dans un milieu sec a été mise en évidence par d'autres auteurs (BEHAEGHE et BLOUARD, 1962; COME, 1975 ; ABDULLAH et al., 1992). Le comportement germinatif de *L. creticus* est comparable au comportement d'*Acacia berlandieri*, mis en évidence par VORA (1989). D'après cet auteur, les semences -fraîchement récoltées de cette espèce germent même en absence de prétraitement, mais lorsqu'elles sont âgées de huit mois, un prétraitement à l'acide sulfurique fait augmenter leur taux de germination. Chez *L. creticus* un prétraitement à l'acide devient nécessaire au bout de quatre mois seulement.

Chez l'autre espèce, présentant une inhibition tégumentaire et appartenant à cette catégorie (*O. natrix*), aucune variation importante de la capacité germinative n'a été enregistrée au cours des quatre premiers mois après la collecte. L'augmentation du taux de graines dures semble s'effectuer chez cette espèce d'une façon plus graduelle, puisque chez des semences âgées de 20 mois et dont la capacité germinative était de 17% (figure 7), ce taux était de l'ordre de 80%.

Chez *A. henoniana*, les taux relativement élevés de semences pourries obtenus à la fin des essais de germination effectués tout au long des quatre premiers mois après la collecte (figure 6) traduisent une immaturité physiologique chez une forte proportion de semences du lot utilisé. Cette proportion, est relativement plus faible chez *E. pinnata*. Il semble que la post-maturation, qui correspond à une levée de dormance embryonnaire chez *A. henoniana* et à une levée d'inhibition tégumentaire et de dormance embryonnaire chez *E. pinnata*, n'est atteinte qu'au cours d'une période plus longue que les quatre mois correspondant à la durée de l'essai.

Chez *A. gombiformis* la fraction de semences pourries n'a été obtenue qu'à la fin des essais effectués au cours du premier mois après la collecte (mois de juin) alors que chez *L. creticus*, cette fraction n'a disparu qu'au cours du mois de septembre.

* Influence des prétraitements sur le comportement germinatif des semences

Les résultats relatifs aux effets des différents prétraitements appliqués aux semences des espèces étudiées sont illustrés par les histogrammes de la figure 7. Cette figure montre que l'immersion, pendant une heure, des semences dans l'acide sulfurique pur permet d'obtenir le plus fort taux de germination chez quatre espèces parmi les six espèces dont les semences ont subi des prétraitements. Il s'agit d' *A. raddiana*, d' *A. uniflorum*, d' *O. natrix* et de *L. creticus*.

L'efficacité de ce prétraitement était moindre pour les durées d'immersion inférieures à une heure. Des durées supérieures à une heure se sont avérées également moins efficaces chez *A. raddiana* mais ont donné de meilleurs résultats chez *A. gombiformis* et chez *R. raetam*. Chez la première espèce la durée optimale est d'une heure et demi alors que chez *R. raetam* cette durée peut atteindre deux heures. Les meilleurs prétraitements engendrent, outre une augmentation de la capacité germinative, une diminution du temps moyen de germination.

Dilué à 70%, l'efficacité de l'acide sulfurique dépend également de sa durée d'action. A ce niveau de dilution, l'immersion pendant six heures des semences de *R. raetam* engendre pratiquement le même effet sur leur capacité germinative qu'un trempage dans l'acide sulfurique pur pendant une heure et demi ou pendant deux heures.

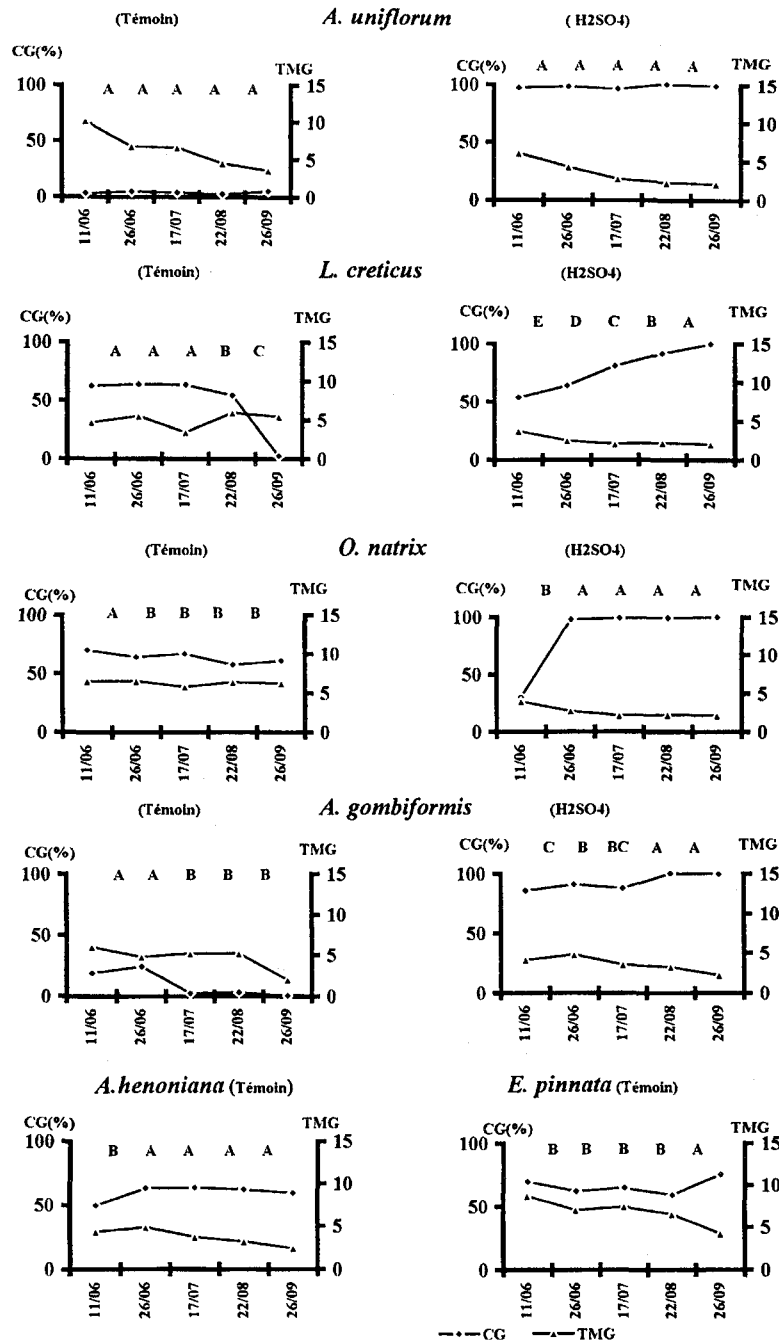


Figure 5 : Evolution de la capacité germinative (CG%) et du temps moyen de germination (TMG en jours) des semences de quelques légumineuses pastorales pérennes des zones arides au cours des premiers mois après leur collecte.

(Au niveau du même graphique les valeurs de la capacité germinative portant des lettres différentes sont statistiquement différentes ($P < 0.05$): Test de Newman Keuls.)

L'immersion des semences dans l'eau bouillante n'a entraîné qu'une légère augmentation de la capacité germinative des semences d'*A. uniflorum* et à moindre degré de celles de *L. creticus*. Ce prétraitement a, par ailleurs, engendré une diminution de la vitesse de germination de ces deux espèces.

L'efficacité de l'acide pour lever l'inhibition tégumentaire avait déjà été démontrée par plusieurs auteurs (BEHAEGHE et BLOUARD, 1962; CLATWORTHY, 1984; GROUZIS, 1987; VORA, 1989; etc...). Une immersion prolongée des semences dans l'acide pur ou dilué peut endommager l'embryon et réduire les performances. La durée optimale de trempage paraît être en rapport avec la dureté des téguments. (NEFFATI 1994).

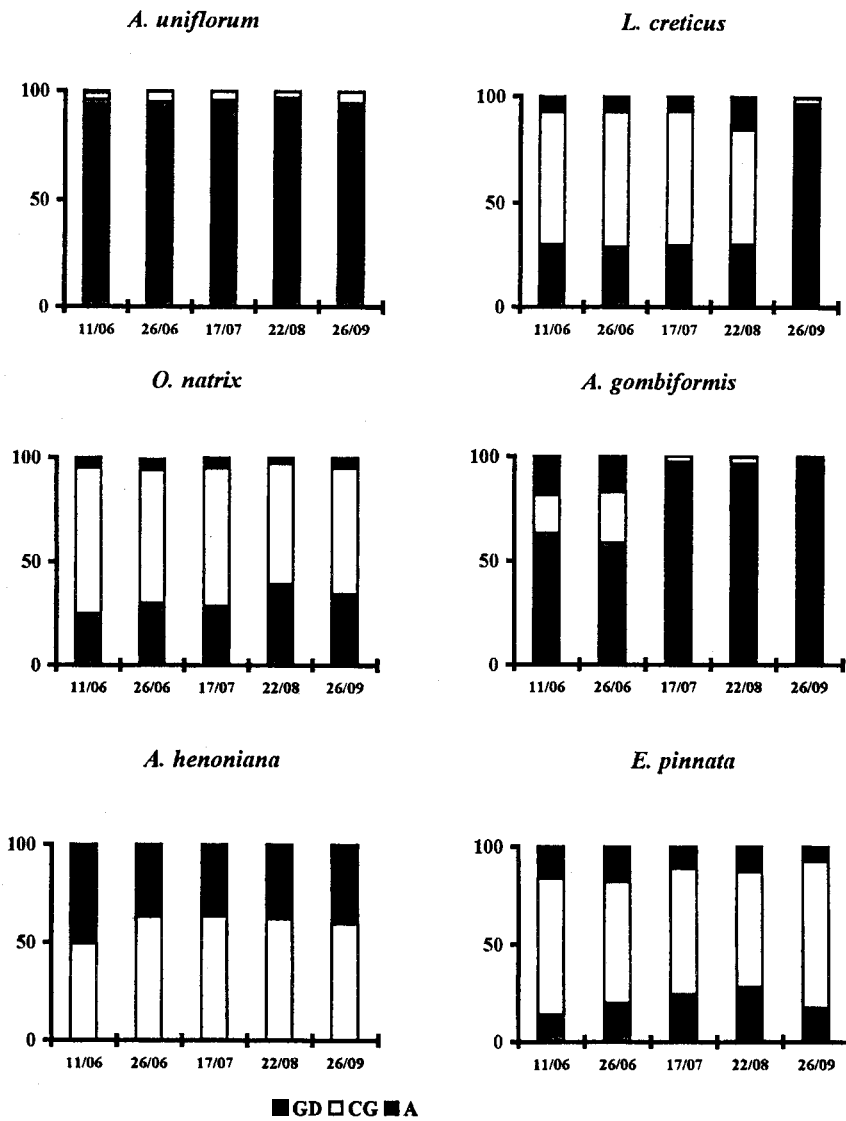


Figure 6 : Capacité germinative(CG), taux de graines dures(GD) et taux de semences pourries ou à germination anormale(A : autres) de six légumineuses pastorales pérennes de la Tunisie steppique obtenus à différentes dates après leur collecte (graines non prétraitées; incubation à la température optimale pendant 15 jours) .

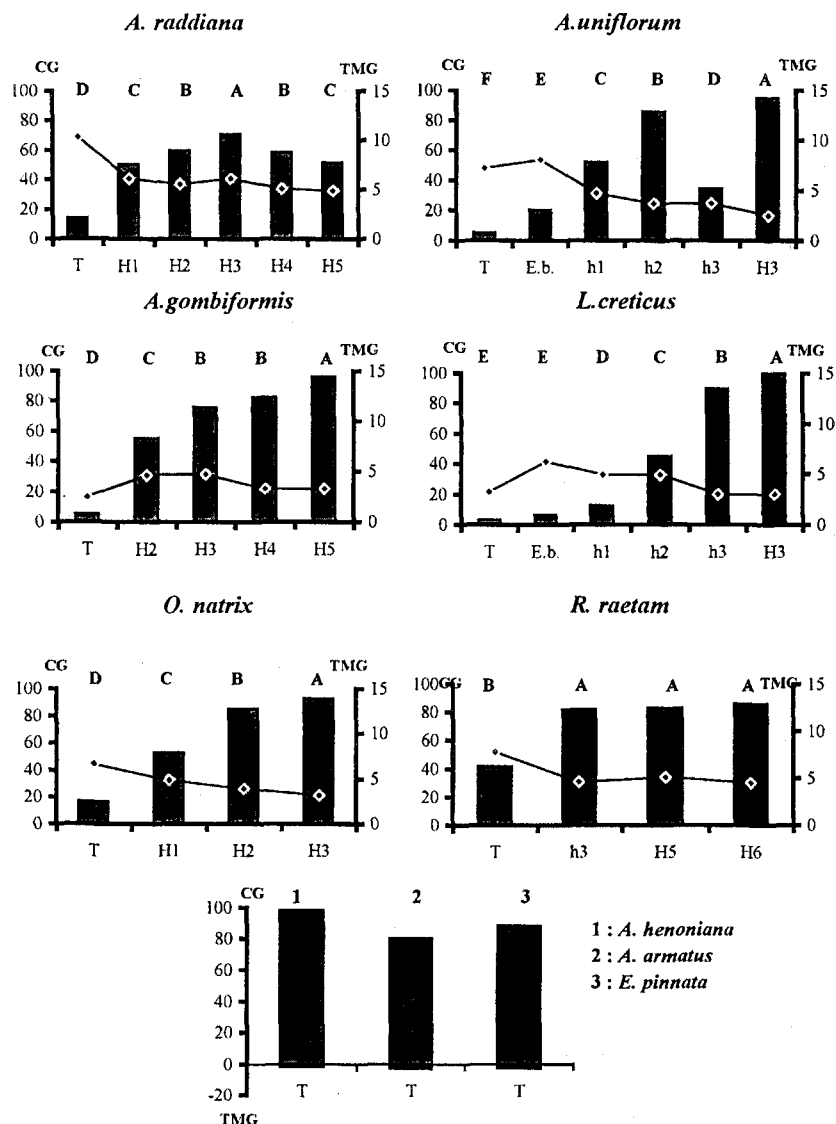


Figure 7: Influence des prétraitements* sur la capacité germinative (CG%) et le temps moyen de germination (TMG en jour) des semences de 9 légumineuses pastorales du sud tunisien (Incubation à l'obscurité à 20°C)

* T= témoin; E. b. = eau bouillante; H= acide sulfurique (H1 : 15 mn, H2 : 30mn, H3 : 1 heure, H4 : 1 heure 15 mn, H5 : 1 heure 30mn, H6 : 2 heures); h= acide sulfurique à 70% (h1 : 1 heure, h2 : 2 heures, h3 : 6 heures).

Au niveau du même graphique, les traitements portant des lettres différentes sont statistiquement différents ($P < 0.05$): test Newman Keuls.

Discussions et conclusion

L'étude expérimentale des propriétés germinatives des semences des neuf légumineuses retenues a permis de mettre en évidence une certaine diversité de comportement vis-à-vis des facteurs testés ainsi que le rôle déterminant de certains d'entre-eux.

Les deux tiers des espèces testées présentent des téguments durs. Une telle caractéristique permet d'éviter la dessiccation des semences au cours de la saison sèche mais constitue un obstacle à l'absorption de l'eau et par conséquent à la germination (ELBERSE and BREMAN, 1989). L'immersion des semences, présentant une inhibition tégumentaire, dans l'acide sulfurique permet d'améliorer significativement leur capacité et leur vitesse de germination.

L'étude de l'effet de la température sur la germination a montré, qu'à l'exception de *R. raetam* caractérisé par un optimum thermique relativement strict (de l'ordre de 15°C), la majorité des espèces étudiées est capable de

germer sous une large gamme de températures. Une température de l'ordre de 20° C paraît convenir à la germination de celles-ci même si certaines espèces préfèrent germer à des températures plus élevées (*A. raddiana*) ou plus basses (*A. armatus*). L'élargissement de la gamme de températures optimales après prétraitement des semences, observé par d'autres auteurs (KOLLER et COHEN, 1959; NEFFATI, 1994) permet de dire que la régulation de la germination de ces espèces est assurée, surtout, par la dureté des téguments. Chez *R. raetam* il semble que la température joue, aussi, un rôle régulateur de la germination.

La lenteur de la germination; observable sous les températures les plus basses et qui paraît en accord avec ce que nous connaissons sur le rôle du facteur thermique dans l'activation des réactions métaboliques, traduit également un mécanisme d'adaptation des espèces étudiées aux conditions climatiques des zones arides. En effet, ce sont les vitesses de germination relativement importantes, enregistrées sous les fortes températures qui permettent à nos espèces d'échapper aux risques de dessiccation rapide des horizons superficiels du sol durant la période probable de leur germination.

Notons, par ailleurs, qu'au sein de la famille des légumineuses, à laquelle appartiennent nos espèces, aucune concordance n'a pu être mise en évidence entre les exigences thermiques en phase de germination ni avec l'écologie des espèces, ni avec leur type biologique.

Les résultats de recherche relatifs à l'effet du stress hydrique sur la germination montrent qu'il est difficile de relier la tolérance aux contraintes hydriques, au moment de la germination, à l'écologie de l'espèce même si une gypsophyte préférentielle comme *A. armatus* (LE FLOC'H *et al.*, 1989) a été classée parmi les espèces les plus tolérantes. Ce résultat, obtenu également par GROUZIS (1987) pour certaines espèces sahéliennes, permet de dire que la résistance au déficit hydrique, en phase germinative, n'est pas le critère prédominant de la répartition écologique des taxons.

Cette étude a permis de constater que les deux ligneuses hautes (phréatophyte et nanophanérophyte) sont les plus exigeantes en eau en phase germinative mais ceci ne signifie pas nécessairement que les espèces tolérantes au stress hydrique au cours de la germination sont celles qui sont les plus adaptées à la sécheresse au stade adulte (Mc GINNIES, 1960). En effet, bien qu'elle représente l'un des facteurs importants dans l'établissement des espèces (Mc WILLIAM *et al.*, 1970, BOYDSTON, 1989), la tolérance au stress hydrique au moment de la germination constitue, selon les conditions qui suivent cette première phase du cycle végétatif soit un avantage soit un inconvénient (GROUZIS *et al.*, 1986). Un tel comportement ne peut, en effet, être considéré comme bénéfique pour l'adaptation *in-situ* des espèces que si la pluviométrie induisant la germination est suffisamment importante pour permettre la continuation des processus d'établissement depuis la germination jusqu'à l'installation des plantules.

L'étude de l'effet de la lumière sur la germination a permis de montrer que la majorité de nos espèces est indifférente à la lumière, ce qui leur confère une grande souplesse vis-à-vis de ce facteur. Deux espèces (*A. Armatus* et *E. pinnata*) parmi les trois dont les semences ne présentent pas de téguments durs, sont caractérisées cependant par une photosensibilité négative. Cette caractéristique présente l'avantage de minimiser la germination des semences placées en surface du sol et où la dessiccation quasi-permanente réduit les chances d'aboutissement du processus de germination et empêche ainsi l'épuisement du stock de semences dans le sol. Chez les autres espèces ce sont, surtout, les mécanismes de dormance embryonnaire et/ou d'inhibition tégumentaire qui leur permettent d'échapper à ce risque. En effet, ces mécanismes empêchent ou limitent les levées dans des conditions défavorables à l'établissement telles que les faibles averses ou les pluies tardives de la fin du printemps.

A. henoniana se distingue par l'absence d'inhibition et d'obstacles à la germination et par ses faibles exigences vis-à-vis de la lumière et du facteur thermique ce qui confère à cette espèce un dynamisme exceptionnel par sa présence végétative permanente. Ceci se traduit, par un stock de semences dans le sol très éphémère contrairement à toutes les autres espèces étudiées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdullah W.D. ; Powell A.A & Matthews S. (1992) : Prediction of the storage potential of long bean (*Vigna sesquipedalis* L. Fruhw) seed in the tropics. Seed Science and Technology, 20 ; 141-147.
- Batanouny K.H. & Ziegler H. (1971) : Eco-physiological studies on desert plants : Germination of *Zygophyllum coccineum* L. seeds under different conditions. Oecologia, (Berl) 8, 52-63.
- Behaeghe T. & Blouard R. (1962) : Amélioration des semences et sélection des plantes prairiales au Congo, au Rwanda et au Burundi. Bulletin d'Information de l'INEAC, XI, 4.6, pp : 307-338.
- Bell D.T. & Bellairs S.M. (1992) : Effects of temperature on the germination of selected Australian native species used in the rehabilitation of bauxite mining disturbance in Western Australia. Seed Science and Technology, 20 ; 47-55.

- Bendali F. (1987) : Dynamique de la végétation et mobilité du sable en Jeffara tunisienne. Thèse de Doctorat USTL. Montpellier France, 243 p.
- Bogdan A.V. (1977) : Tropical pasture and fodder plants. (grasses and legumes). Printed in Great Britain by Whitstable litho Ltd. Whitstable, Kent, 475 p.
- Borghetti M., Vendramin G.G., Giannini R. And Schettino A. (1989) : Effects of stratification, temperature and light on germination of *Pinus leucodermis*. Acta Oecologica/Oecologia Plantarum, Vol 10, n°1 pp 45-56.
- Boydston R.A. (1989) : Germination and emergence of longspine sandbur (*Cenchrus longispinus*). Weed science, 1989. Volume 37 : 63-67.
- Cardina J. And Hook J.E. (1989) : Factors influencing germination and emergence of florida Beggarweed (*Desmodium tortuosum*). Weed technology. Volume 3 : 402-407.
- Chavagnat A. et Jeudy B. (1980) : Etude de la germination des semences de *Calendula* au laboratoire. Seed Sc. & Technol. 8., 603-614.
- Chavagnat A. et Jeudy B. (1981) : Etude de la germination de *Primula obconica*. Seed Sc. & Technol. 9., 577-586.
- Clatworthy J.N. (1984) : Recherche sur les pâturages au Zimbabwe. Recherche sur l'amélioration des pâturages en Afrique orientale et australe. Comptes rendus d'un atelier tenu à Harara, Zimbabwe, du 17 au 21 sept. 1984. Publication du CRDI Canada, pp 25-61.
- Come D. (1968) : Problèmes de terminologie posés par la germination et ses obstacles. Bull. Soc. fr. Physiologie végétale, 14 (1) : 3-9.
- Come D. (1970) : Les obstacles à la germination. Masson et Cie, Paris, 162 p.
- Come D. (1975) : Quelques problèmes de terminologie concernant les semences et leur germination. in "La germination des semences" - ouvrage collectif présenté par CHAUSSAT R. et LEDEUNFF Y. Bordas - Paris - Bruxelles - Montreal, pp 11-26.
- Corbineau F. et Come D. (1980) : Principaux paramètres de la germination des graines d'*Oldenlandia corymbosa* L. (Rubiaceae tropicale) Physiol. Vég., 18 (2) 259-273.
- Dorgham A. (1989) : Exigences écologiques de la germination des semences de deux espèces pastorales du sud tunisien : *Argyrobolium uniflorum* et *Stipa lagascae*. D.E.A de physiologie végétale. Université de Tunis II Fac. des Sci. de Tunis, 118 p.
- Elberse W. Th. & Breman H. (1989) : Germination and establishment of sahelian rangeland species : I. Seed properties. Oecologia, 80 :477-484.
- Floret C. & Pontanier R. (1982) : L'aridité en Tunisie présaharienne. Trav. et doc. ORSTOM, Paris n° 150, 544 p.
- Floret C. (1981) : The effects of protection on steppic vegetation in the mediterranean arid zone of southern Tunisia. Vegetatio 46 : 117-119.
- Grime J.P. ; Mason G. ; Curtris A.V. ; Rodman J. ; Band S.R. ; Mowforth M.A.G. ; Neal A.M. & Shaw S. (1981) : A comparative study of germination characteristics in a local flora. Journal of Ecology, 69 : 1017-1059.
- Grouzis M. (1987) : Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'oursi, Burkina Faso). Thèse d'Etat. Université de Paris Sud, Centre d'Orsay. 335 p.
- Jordan G.L. & Haferkamp M.R. (1989) : Temperature responses and calculate heat units for germination of several range grasses and shrubs. Journal of range management, 42 (1) 41-45.
- Koller D. & Cohen D.(1959) : Germination-regulating mechanisms in some desert seeds, *Convolvulus lanatus* Vahl., *Convolvulus negevensis* Zoh. and *Convolvulus secundus* Desr. Bull. Res. Conc. of Israel. Vol 7d 175-180.
- Koller D. (1955) : The regulation of germination in seeds (review). Bull. Res. Council. of Israel, Vol. 5D, 85-108.
- Le Houerou H.N. (1959) : Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. 1ère partie : les milieux naturels et la végétation, 281 p. 2ème partie : la flore, . Inst. Rech. Sah. Alger. 277 p.
- Le Houerou H.N. (1969) : La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Libye). Annales de l'INRAT Tunisie, Vol 42 Fasc. 5, 617 p.
- Le Floc'h E., Schoenenberger A., Nabli M.A. et Valdeyron G. (1989) : Biologie et écologie des principaux taxons in "Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisienne : I. Eléments de botanique et de phytoécologie" M.A. NABLI ed. : 51-193.

- Lonchamp J.P. And Barralis J. (1983) : Effets de faibles potentiels hydriques sur les possibilités de germination des semences d'*Alopecurus myosuroides* Huds. et de *Matricaria perforata* Mérat. Agronomie, 3 (5), pp 435-441.
- Lonchamp J.P. Et Boulet C. (1989) : Etude de la germination des graines de *Solanum elaeagnifolium* Cav., adventice de Tadla (Maroc). Actes Inst. Agron. Vet., Vol (3 et 4), 1989 pp 51-56.
- McGinnies W.J. (1960) : Effects of moisture stress and température on germination of six range grasses. Agronomy journal, vol 52, pp 159-162.
- McWilliam J.R., CLEMENTS R.J. And DOWLING P.M. (1970) : Some factors influencing the germination and early seedling development of pasture plants. Aust. Jour. Agric. Res., 21: 19-32.
- Michel B.E. And Kaufmann M.R. (1973) : The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant physiology, Vol 51, pp 914-916.
- Neffati, M (1994) : Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces végétales nord-africaines. Implications pour l'amélioration pastorale. Thèse de doctorat (Ph.D.) en Sciences Biologique Appliquées, Section Agronomie. Univ. de Gent. Belgique. 264 p.+Annexes.
- Novikoff G. (1983) : Essais de lutte contre l'érosion éolienne dans les parcours à *Rhanterium suaveolens* de la Jeffara et leur application. Actes du séminaire sur les problèmes de l'érosion éolienne dans les zones prédésertiques. Projet IPAL Tunisie. I.R.A Medenine Tunisie. pp : 105-111.
- Pale F. (1982) : Etude expérimentale de la germination de semences sahéliennes : influence du potentiel hydrique. DEA, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 33p.
- Pnud-Fao (1979) : Recherche et développement des parcours du centre-sud tunisien Synthèse des travaux réalisés au cours du projet et recommandation. Projet AG:DP/TUN/69/001. Rapport technique, 195 p.
- Pons T.L. (1992) : Seed responses to light. in "SEEDS, the ecology of regeneration in plant communities". Michael FENNER, C.A.B International : 259-284.
- Potter R.L., Ueckert D.N., Petersen J.L. And McFarland M.L. (1986) : Germination of fourwing saltbush seeds : interaction of temperature, osmotic potential and pH. Journal of Range Management, 39 (1), pp 43-46.
- Probert R.J. (1992) : The role of temperature in germination ecophysiology. in "Seeds, the ecology of regeneration in plant communities". Michael FENNER C.A.B International : 285-325.
- Rollin P. (1975) : Le phytochrome et le rôle de la lumière dans la germination. in "La germination des semences". Ouvrage collectif présenté par CHAUSSAT R. et LEDEUNFF Y. Bordas, Paris-Bruxelles-Montreal, pp 45-57.
- Scott S.J., Jones R.A. And Williams W.A. (1984) : Review of data analysis methods for seed germination. Crop science, vol 24 (6) pp : 1192-1199.
- Sharma M.L. (1973) : Simulation of drought and its effect on germination of five pasture species. Agronomy journal, vol 65, pp : 962-987.
- Simpson G.M. (1990) : Seed dormancy in grasses. Cambridge University Press. Cambridge, New-York, Port Chester, Melbourne, Sydney, 297 p.
- Vora R.S. (1989) : Seed germination characteristics of selected native plants of the Lower Rio Grande Valley, Texas. Journal of range management, 42 (1) : 36-40.
- Zaafouri M.S. (1993) : Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne. Thèse de Doctorat. Univ. de Droit d'Econ. et des Scien. Aix-Marseille III 200 pages + annexes.

ETUDE DE LA DIVERSITE BIOLOGIQUE DES POPULATIONS D'*ARTEMISIA HERBA-ALBA* ASSO EN TUNISIE PRESAHARIENNE

Ali FERCHICHI :

Institut des Régions Arides, 4119 Médenine, Tunisie

RESUME

L'étude caryosystématique réalisée à partir de plusieurs populations d'*Artemisia herba-alba* Asso de la Tunisie présaharienne a permis de révéler l'existence de deux cytotypes, l'un diploïde à $n = 9$, l'autre tétraploïde à $n = 18$.

La caractérisation morpho-biologique et écologique des deux races met en évidence des différences aux niveaux de la distribution géographique, des exigences écologiques, de la vigueur végétative et de la morphologie florale. Cette différenciation nous permet de classer les deux cytotypes dans 2 variétés différentes.

Mots-clés: *Artemisia herba-alba*, caryosystématique, Tunisie présaharienne, morpho-biologie

SUMMARY

The karyosystematic study from various populations of *Artemisia herba-alba* Asso of presaharian Tunisia allowed to emphasize two cytotypes, one diploid with $n = 9$ and the other tetraploid with $n = 18$.

The morpho-biological and ecological characterisation of the two races emphasize the differences at the level of the geographical distribution ecological demands, in vegetatif vigor and flower morphology. Such differentiation allows us to classify both races as being different taxa.

Key words: *Artemisia herba-alba*, karyosystematic, presaharian-Tunisia, morpho-biology

INTRODUCTION

Artemisia herba-alba est un ligneux bas de bonne valeur pastorale (Le Houérou, 1975, Ferchichi et Neffati, 1992) dont l'aire géographique s'étend depuis les Canaries et l'Espagne à l'Ouest, jusqu'au Turkménistan et l'Ouzbékistan à l'Est au travers de tout le Nord de l'Afrique et le Proche Orient (Le Floch *et al.*, 1989, Quézel et Santa, 1962, Pottier-Alapetite, 1981). En Afrique du Nord, les superficies occupées par les steppes à armoise blanche sont évaluées à plus de dix millions d'hectares.

En Tunisie, cette espèce est présente depuis l'étage bioclimatique semi-aride jusqu'au saharien (entre 400 mm et 90 mm de précipitations annuelles). Elle présente une large amplitude altitudinale et se rencontre dans toutes les conditions de variantes hivernales.

Artemisia herba-alba est largement distribuée en Tunisie présaharienne où elle occupe des sols plus ou moins limoneux (de limono-argileux dans les dépressions à sablo-limoneux sur les glacis). Dans l'Extrême Sud, elle devient ripicole et psammophile. L'extension de cette espèce est, pour certains auteurs (Le Floch *et al.*, 1989, Le Houérou, 1969), attribuable à la destruction des formations forestières claires et des nappes alfatières.

Outre sa large distribution, cette espèce caractérise de nombreux groupements végétaux. Le Houérou (1969) a décrit quatre de ces groupements en Tunisie méridionale : l'association à *Artemisia herba-alba* et *Centaurea acaulis*, l'association à *Artemisia herba-alba* et *Asparagus albus*, l'association à *Artemisia herba-alba* et *Helianthemum ruficomum* et l'association à *Artemisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium*.

C'est à la fois la large répartition, l'amplitude écologique et la position phyto-sociologique de cette espèce, en plus de son polymorphisme, qui nous ont conduit à entreprendre son étude cytotaxonomique. Nous nous proposons de présenter ici les résultats des investigations sur un certain nombre de populations. Nous commenterons ensuite les résultats de nos comptages chromosomiques en essayant d'en tirer des arguments pour la taxonomie.

Matériel et méthodes

Les comptages chromosomiques ont été réalisés en méiose, sur des anthères, à partir de prélèvements de jeunes boutons floraux de plantes spontanées, et en mitose, sur de jeunes ébauches foliaires.

Les boutons floraux et les jeunes ébauches foliaires, récoltés dans la nature, sont fixés dans un mélange alcool absolu - acide acétique glacial dans la proportion 3/1 et stockés au réfrigérateur.

La technique de coloration utilisée pour l'étude de la méiose est celle des écrasements d'anthères dans le carmin acétique ferrugineux chaud. Pour les mitoses nous avons utilisé la fuschine leuco-basique de Feulgen.

Les résultats sont vérifiés par l'examen de 40 figures, au minimum, pour chacune des populations.

Les caractères morphologiques ont été décrits à partir d'une vingtaine d'individus en fleurs, élevés dans les mêmes conditions édapho-climatiques. Le suivi de la phénologie et de la vigueur végétative a été également réalisé sur des plantes de deux populations (Kirchaou et Guetar) installées en pastoretum. Ce choix est de nature à minimiser les différences de vigueur dues aux conditions d'habitat et à mieux exprimer ceux d'origine génétique.

Pour les stades phénologiques on a considéré, à chaque relevé, celui atteint par le plus grand nombre d'individus de chaque population. Des relevés de précipitation et du stock d'eau dans le sol nous ont permis de situer les stades phénologiques en fonction de l'humidité du sol.

Pour les variables de vigueur, les mesures ont concerné la hauteur et le diamètre de la touffe ainsi que la longueur des trois pousses les plus longues.

Résultats:

Les résultats des comptages chromosomiques sont résumés dans le tableau I.

Tableau I : Caractérisation écologique et nombre chromosomique des différentes populations prospectées d'*Artemisia herba-alba*. (P = pluviométrie moyenne annuelle, Q₂ = Quotient pluviométrique d'Emberger).

Populations	P (mm)	Q ₂	Etage bioclimatique	Variante	Nombre de chromosomes (n)
Matmata	231	27	Aride supérieur	Douce à tempérée	9
Bou Hedma (Meknassy)	188	24	Aride inférieur	Douce à tempérée	9
Ouedrane (Gabès)	189,2	24,3	Aride inférieur	Douce	9
Tejra (Médenine)	151,7	16,9	Aride inférieur	Douce	9
El Guetar (Gafsa)	162,7	16,2	Aride inférieur	Tempérée	9
Gragueur, Gattoufa, Chénini, El Ferch, Kirchaou	118	12,2	Aride inférieur	Douce	18
Toujane (Gabès)	189,2	24,3	Aride inférieur	Douce	18
Beni Khedache (Médenine)	151,7	16,9	Aride inférieur	Douce	18

Deux cytotypes ont été mis en évidence (figure 1) :

- un cytotype diploïde à $n = 9$ révélé dans les populations d'El Guetar, Ouedrane, Bou-Hedma, Matmata et Tejra;

- et un cytotype tétraploïde à $n = 18$ mis en évidence dans les populations de Toujane, Beni Khedache, Graguer, Gattoufa, Chénini, Kirchaou et El Ferch.

La valence tétraploïde, $2n = 36$, a été mentionnée par Fernandez Casas *et al.* (1978) pour des populations de Fuentiduena de Tajo (Madrid - Espagne) collectées à 650 m d'altitude. Cette numération confirme celles trouvées par Kawatani et Ohno (1964) et Murin et Chaudri (1970).

D'autre part Valdés Bermejo et Gomez Garcia (1976) ont signalé pour la première fois en Espagne, entre Aranjuez et Antigola à 580 m d'altitude, le cytotype diploïde, à $2n = 18$, pour *Artemisia herba-alba* Asso var. *incana* Boiss. (= *Artemisia aragonensis* Lam.). Cette même numération ($2n = 18$) a été signalée par Ouyahya (1987) pour des populations marocaines d'*Artemisia herba-alba sensus lato*.

L'existence de différents niveaux de ploïdie chez le genre *Artemisia* a été signalée auparavant par certains auteurs dont Ouyahya et Viano (1981) qui, en étudiant des *Artemisia* endémiques du Maroc, ont signalé la forme polyploïde ($7x$) chez *Artemisia negrii* Ouyahya, la valence diploïde pour *Artemisia mesatlantica* Maire et les formes diploïde et tétraploïde pour *Artemisia atlantica* Coss. et Dur. var *maroccana* (Coss.) Maire. Ward (1953),

Kitamura (1957) au Japon et Koul (1964) en Inde ont également mentionné les races diploïdes et tétraploïdes respectivement chez *A. arbuscula* Nutt., *A. borealis* Pall. et *A. roxburghiana* Bess.

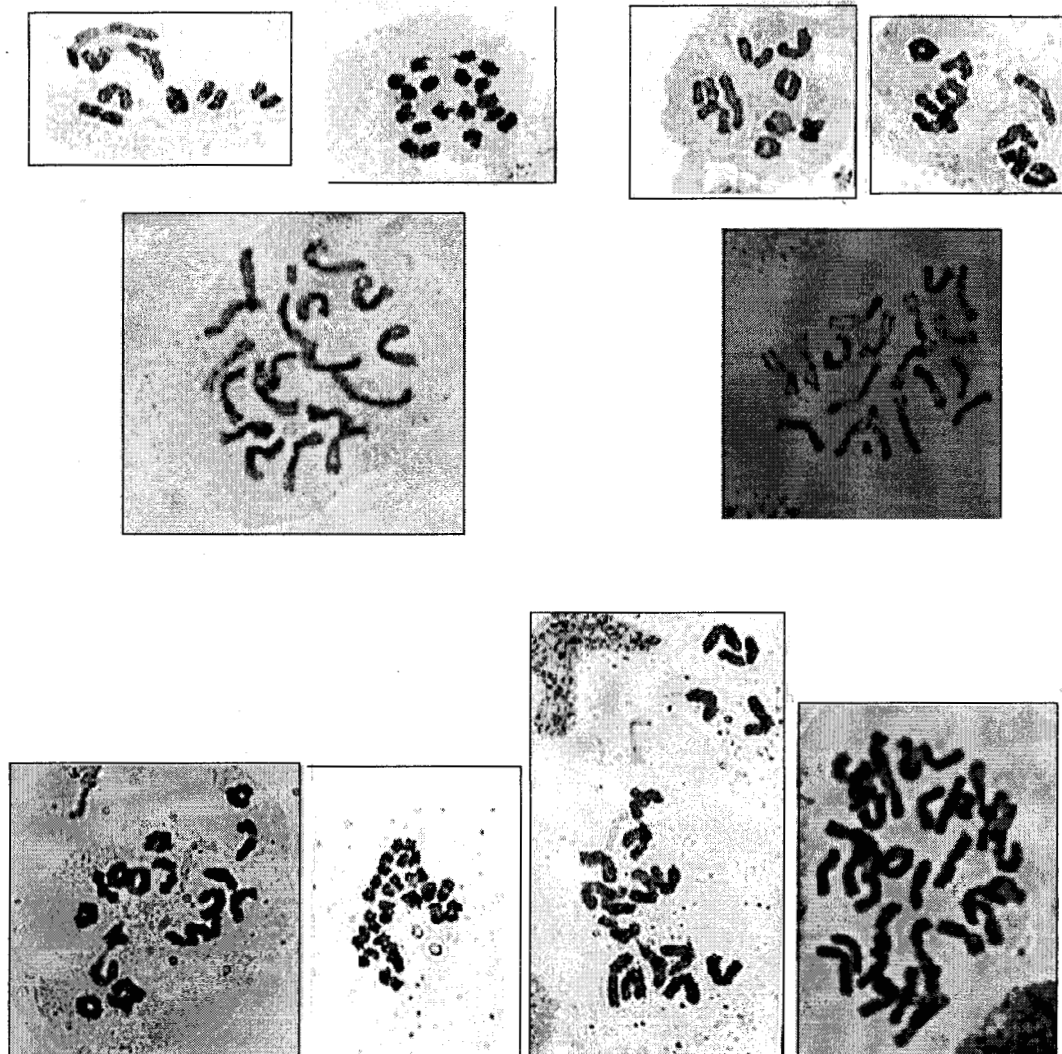


Figure 1: *Artemisia herba-alba*, cytotype diploïde à $n=9$ ($2n=18$) et cytotype tétraploïde à $n=18$ ($2n=36$)

Caractérisation des deux races chromosomiques

Distribution géographique

A l'état actuel des investigations, que l'on estime être suffisamment représentatives pour la Tunisie présaharienne, la distribution géographique des deux races paraît être latitudinale (Figure 2)

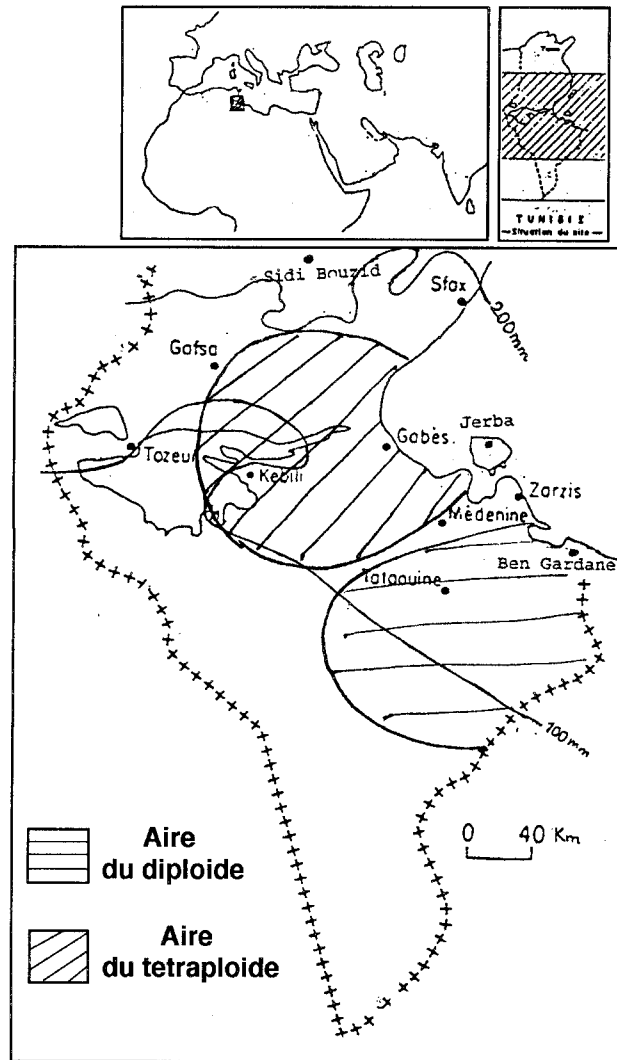


Figure 2 : Distribution géographique des deux races d'*Artemisia herba-alba* en Tunisie présaharienne

La race tétraploïde occupe le territoire situé au sud de Toujane (Toujane, Béni Khedache, Graguer, El Ferch, Chénini-Tataouine, Gattoufa, Kirchaou). Au nord de cette limite (Matmata, Ouedrane, Bou-Hedma, Gafsa) se rencontre le cytotype diploïde. La limite entre les deux domaines se situe approximativement entre Toujane et Matmata. Il faut également mentionner qu'aucune des populations étudiées n'a révélé l'existence de sympatrisme racial.

Caractéristiques écologiques

Le régime des précipitations ne semble pas avoir un effet direct sur la différenciation des deux races (tableau I). Il faut cependant noter que la majorité des populations tétraploïdes (5 sur 7) reçoivent une précipitation inférieure à celle des populations diploïdes.

Concernant le caractère édaphique, *Artemisia herba-alba* se développe généralement sur des sols peu évolués d'apport ou d'érosion. Il s'agit presque toujours de glacis quaternaires ou d'alluvions actuels ou subactuels à texture plus ou moins limoneuse et peu épais. Dans la région de Tataouine (populations tétraploïdes), *A. herba-alba* se rencontre sur des lithosols ou parfois sur des substrats érodés où les formations géologiques, le plus souvent constituées d'alternances marno-calcaires, affleurent. Aux jbel Matmata, Gafsa, Bou-Hedma (populations diploïdes), l'armoise blanche occupe des sols rendziniformes très dégradés qui présentent un glaçage superficiel limoneux.

Si l'on se réfère à la géologie des différentes stations étudiées, on remarque que les tétraploïdes se localisent sur des formations du Jurassique (dolomie, marnes, grès et argiles), alors que les diploïdes se trouvent sur des formations du Crétacé (calcaire, dolomie, marne et gypse) et du Quaternaire (croûtes calcaires et gypseuses, conglomérats alluviaux).

Vigueur végétative et phénologie

Dans une étude récente sur le comportement comparé d'espèces pastorales installées en pastoretum soumis aux mêmes conditions édapho-climatiques, Ferchichi *et al.* (1991) ont remarqué que les cycles de vie des populations d'*Artemisia herba-alba* provenant d'El Guetar (diploïde) et de Kirchaou-Tataouine (tétraploïde) sont relativement synchrones. De légères différences existent cependant au niveau des stades secondaires. Ceci signifie que pour l'une ou l'autre des provenances, des individus anticipent ou prolongent un stade phénologique. Les différents stades phénologiques d'*Artemisia herba-alba* sont portés sur la figure 3. La phase de reproduction débute en fin d'été et se prolonge jusqu'au mois de février, date de maturité des semences. Les pluies d'automne provoquent généralement l'émission de ramifications différées orthotropes au niveau des noeuds de la partie basale. Mais la période optimale de croissance est printanière. Les ramifications des tiges produites à cette période sont du type simultané et acrotone.

Par contre, l'évolution de la vigueur végétative des deux populations en provenance de Kirchaou (tétraploïde) et de El Guetar (diploïde) a été suivie au moyen de trois paramètres (hauteur de la touffe, diamètre de la touffe et longueur des pousses). Les individus de Kirchaou présentent les valeurs les plus élevées de hauteur moyenne (22,8 cm contre 18,4 cm pour El Guetar), de diamètre moyen (35,1 cm contre 26,9 cm) et de longueur moyenne des pousses (18 cm contre 15,7 cm).

Données sur les semences

Les akènes des deux cytotypes sont similaires et ne présentent pas de différences macroscopiques. Le poids de 1000 akènes est d'environ 0,14 g. Le nombre de semences produites par individu varie, selon la vigueur de l'individu considéré, de 6100 à 17800.

Les aptitudes germinatives des deux races chromosomiques ne présentent également pas de différences significatives. La température optimale de germination des semences d'*Artemisia herba-alba* est environ 10°C. A cette température, la capacité germinative moyenne est 35 % et la durée moyenne de germination est d'environ 9 jours (tableau II). *Artemisia herba-alba* ne tolère pas, au stade germinatif, les potentiels hydriques bas et sa germination est inhibée au dessous d'un potentiel hydrique égale à - 3 bars (Neffati, 1994).

Tableau II : Evolution de la capacité germinative et du temps moyen de germination des semences d'*Artemisia herba-alba* en fonction de la température et du potentiel hydrique (d'après les travaux de Neffati, 1994).

	Température (°C)					Potentiel hydrique (bars)				
	5	10	15	20	25	0	- 1	- 3	- 7	- 10
TMG (jours)	9,9	8,6	7,6	7,6	8,5	8,6	8,7	8,9	10,5	-
CG (%)	28	35	9	1,2	1,5	35	32	17	1	0

TMG = Temps moyen de germination, CG = Capacité germinative

Comparaison morphologique

A première vue les deux cytotypes sont très proches. Cependant certaines différences sont détectables aux niveaux de la forme et la dimension des capitules, du nombre de fleurs par capitule, de la dimension et de la forme de la corolle et de la densité du feuillage.

Le tableau III rend compte des caractères discriminants existant entre les deux cytotypes.

Tableau III : Caractères morphologiques des deux cytotypes d'*Artemisia herba-alba* en Tunisie présaharienne

	Cytotype tétraploïde	Cytotype diploïde
Capitules	globuleux, oblongs de longueur moyenne = $2,3 \pm 0,21$ mm	petits, sphéroïdes de longueur moyenne = $1,9 \pm 0,25$ mm
Nombre de fleurs par capitule	6 à 10 fleurs	3 à 6 fleurs
Corolle	Corolle relativement grande (0,6 à 0,7 mm de long) à lobes longs et aigus	Corolle relativement petite (0,4 à 0,5 mm de long) à lobes courts et aigus
Feuilles	généralement nombreuses le long des rameaux ($23,5 \pm 0,9$ feuilles / cm)	relativement moins nombreuses le long des rameaux ($17,5 \pm 3,1$ feuilles / cm)

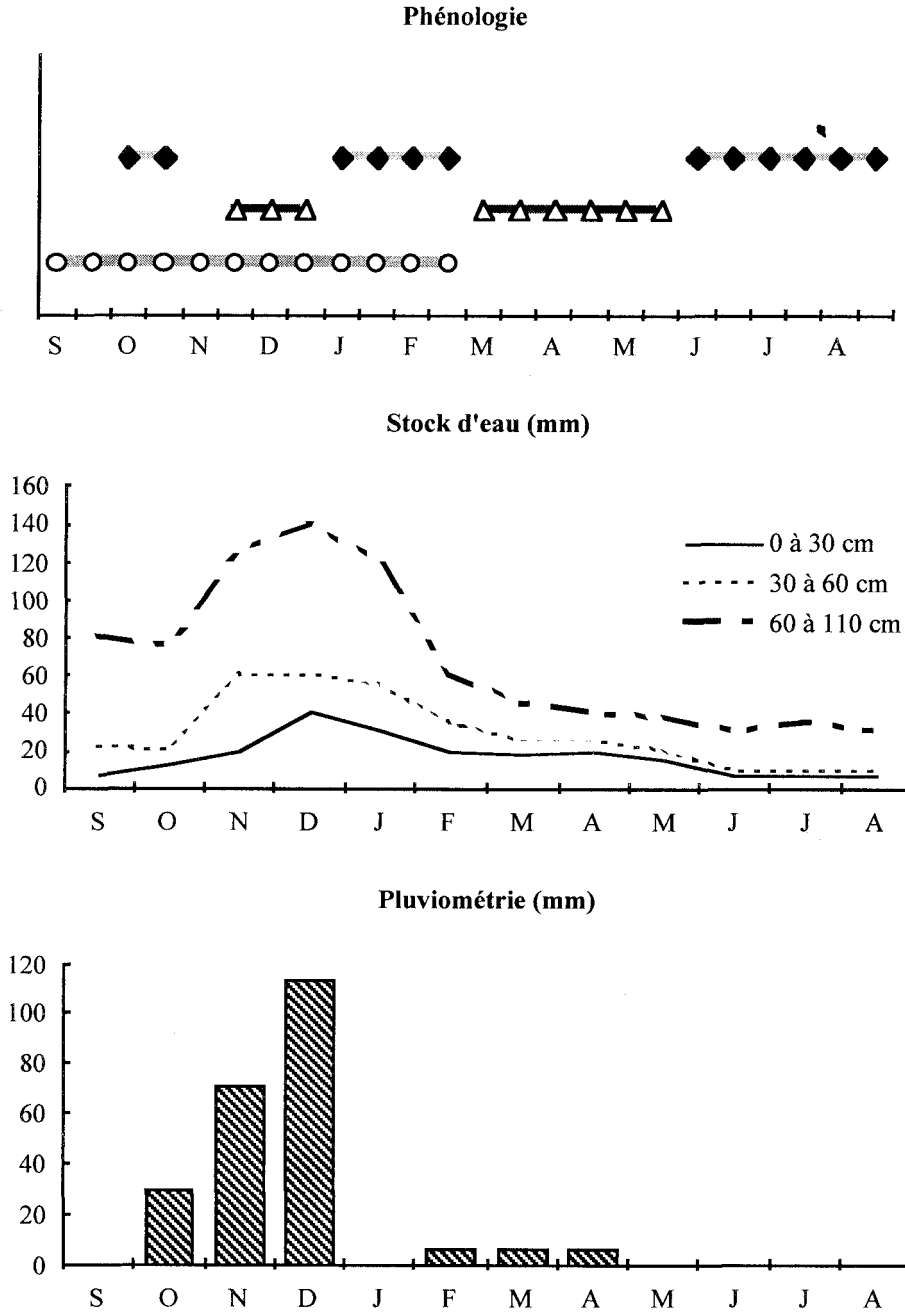


Figure 3 : Positions relatives des phases de croissance et de reproduction sexuée d'*Artemisia herba-alba* Asso en relation avec les réserves en eau du sol. "Position moyenne des populations diploïdes et tétraploïdes" (Ferchichi et al., 1991).

Discussion et Conclusion

La prospection caryologique a révélé l'existence de deux cytotypes chez *Artemisia herba-alba* en Tunisie présaharienne: l'un diploïde à n = 9 et le second tétraploïde à n = 18. La caractérisation morphologique, biologique et écologique des deux cytotypes met en évidence des différences aux niveaux de la répartition géographique, des exigences écologiques et de certains caractères morphologiques notamment au niveau des capitules, de la corolle et de la vigueur végétative. Cette caractérisation appelle un certain nombre de commentaires quant à l'origine et à la taxonomie des deux cytotypes.

1/ Sur le plan morphologique les deux formes sont très proches, très affines, de telle sorte que pour un botaniste de terrain, il n'y a qu'un seul taxon. Les différences qui les séparent ne sont pas plus grandes que celles qui se rencontrent entre populations, voire entre individus d'une même population.

2/ Indépendamment du fait que ces races sont extrêmement difficiles à distinguer sur le terrain et en hercier, la corrélation entre les critères cytologiques et les caractères morphologiques, est assez floue.

Les études cytologiques réalisées par Fernandez Casas *et al.* (1978) et Valdés Bermejo et Gomez Garcia (1976), montrent que la race diploïde appartient à la variété *incana* Boiss = *Artemisia aragonensis* Lam., alors que l'espèce commune est représentée par le cytotype tétraploïde. En Tunisie présaharienne, nos travaux montrent que c'est plutôt le cytotype diploïde qui correspond au taxon commun tel que le décrit Asso y del Rio (1779). (nombre de fleurs / capitules = 4 à 5). La forme tétraploïde se caractérise par un nombre de fleurs par capitule plus grand (8 à 12). C'est ce même critère qui distingue la variété *saharae* (Pomel) Q. et S. (= *A. saharae* Pomel) décrite en Algérie. Cependant, cette dernière diffère des deux cytotypes de la Tunisie présaharienne par la forme et la couleur des akènes (blancs, striés, glabres, non glanduleux chez *A. saharae* et jaunâtres, striés, velus et glanduleux pour les cytotypes de la Tunisie présaharienne).

Par ailleurs, Ouyahya (1987) qui a étudié neuf populations au Maroc n'a pu révéler que le cytotype diploïde dans ce pays. Sur le plan morphologique, les populations décrites par Ouyahya (1987) sont comparables à la race diploïde de la Tunisie présaharienne.

3/ En revanche, et contrairement à l'Espagne il y a en Tunisie présaharienne une bonne corrélation entre le nombre de chromosomes et la distribution géographique. La figure 2 donne une idée précise de la position respective des deux cytotypes. Il est intéressant de constater que le polyploïde a colonisé les régions situées au sud de l'aire du sippe diploïde.

La situation des polyploïdes à la périphérie de l'aire du diploïde a été discutée par plusieurs auteurs (Stebbins 1950, Favarger et Contandriopoulos 1961, Brandt, 1961 etc.). L'explication du phénomène, si l'on admet l'avis de ces auteurs, revient au fait que les régions situées près des frontières d'une aire offrent à une espèce des chances plus grandes de varier et favorisent la naissance de polyploïdes. La polyploïdie, ayant ainsi pris naissance, va conférer aux individus, non seulement le pouvoir de survivre, parce que la concurrence est faible, mais de s'étendre sur de nouveaux territoires dès que l'occasion se présente.

L'origine du cytotype tétraploïde en Tunisie pourrait s'expliquer dans cette logique. Cette forme s'est, selon toute vraisemblance, établie par migration durant un "Pluvial" quand les conditions climatiques favorables ont ouvert des territoires neufs au sud de l'aire du taxon d'origine.

4/ L'existence des deux races chromosomiques en Tunisie présaharienne, montre que l'élément polyploïde est d'origine récente. Il s'agit d'un néopolyploïde si l'on se réfère à la classification de Favarger (1961). Ce fait peut expliquer, en partie, la ressemblance morphologique entre les deux races. L'évolution caryologique a précédé l'évolution morphologique, mais il est fort probable qu'au cours de l'évolution et avec le temps, ces races chromosomiques "géographiques" ne deviennent des taxons à morphologie bien distincte.

5/ Il y a, ainsi que nous l'avons signalé précédemment, une bonne corrélation entre la cytologie et la distribution géographique, mais la corrélation avec la morphologie est beaucoup plus vague ce qui rend le traitement taxonomique fort délicat. Cependant lorsqu'à des différences morphologiques, qui sont certes très légères, s'ajoutent celles du nombre chromosomique et de la distribution géographique, il semble possible de les consacrer par un rang taxonomique de sous-espèce ou de variété. Nous pourrions donc admettre, deux variétés pour *Artemisia herba-alba* en Tunisie présaharienne avec la nomenclature suivante :

- *Artemisia herba-alba* Asso var. *communis* pour le cytotype diploïde à $n = 9$ dont les caractères morphologiques correspondent au taxon commun décrit par Asso y del Rio (1779) et par Ouyahya (1987) au Maroc.

- *Artemisia herba-alba* Asso var. *desertii* Ferchichi pour le cytotype tétraploïde à $n = 18$.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Asso Y Del Rio P., 1779. - Synopsis stirpium indigenarum Aragoniae. Acad. Vol. I. pag. I. edit. Massiliae.
 Brandt J. P., 1961. - Cytotaxonomie et cytogéographie de *Veronica prostrata* L. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, 84, 35-88.
 Favarger C., 1961. - Sur l'emploi des nombres chromosomiques en géographie botanique. *Ber. geob. Forsch. Inst. Rübel*, 32, 119-146.
 Favarger C. et J. Contandriopolos, 1961. Essai sur l'endémisme. *Bar. Schweiz. bot. Ges.*, 71, 384-408.
 Ferchichi A. et M. Neffati, 1992. - Essai de resemis d'espèces pastorales autochtones en Tunisie centrale. *Ecologia Mediterranea*, 18, 25-30.

- Ferchichi A., M. Neffati M. et E. Le Floch, 1991. - Comportement comparé d'espèces pastorales de diverses provenances de la zone aride tunisienne installées en pastoretum. IVth International Rangeland Congress, Montpellier, France, 364-367.
- Fernandez Casas J., J. Gonzalez Aguilera et M. Ruiz Rejon, 1978. - Notas sobre cariologia de Lamiaceas. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, 34 (2), 723-732.
- Kawatani T. et T. Ohno, 1964. - Chromosome number in *Artemisia*. *Bull. Natl. Inst. Hygenic. Sci.*, 82, 183-193.
- Kitamura S., 1957. - *Compositae Japonicae*. Pars Sexta. *Mem. coll. Sci. Kyoto Univ.*, B, 24 (1), 1-79.
- Koul M. L. H., 1964. Cytomorphological survey of Indian *Artemisia* l. *Jour. Sci. Res. Banaras Hindu Univ.*, 14, 2 : 103-110.
- Le Floch E., Schoenenberger A., Nabli A. & Valdeyron M.A., 1989. - Biologie et Ecologie des principaux taxons. In *Essai de synthèse sur la végétation et la phytoécologie tunisienne - I. Eléments de botanique et de phytoécologie*. Ouvrage collectif coordonné par A. Nabli, Fac. Sci. Tunis, Imprimerie Officielle de la R_publique Tunisienne, 49-193
- Le Houerou H. N., 1969. - La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc. *Ann. Inst. Nat. Agron. Tunisie*, 42 (5), 1-624 et 1 carte couleur au 1/500.000.
- Le Houerou H. N., 1975. - Problèmes et potentialités des terres arides de l'Afrique du Nord. *Options Méditerranéennes*, 28, 17-20.
- Murin A. et L. Chaudhri, 1970. - IOPB Chromosome number reports 26. Edited by A. Löve, *Taxon*, 19, 264-269.
- Neffati M., 1994. - Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces végétales Nord-africaines, implications pour l'amélioration pastorale. Thèse doctorat, Faculté des sciences Agronomiques de Gent (Belgique), 264 p.
- Ouyahya A., 1987. - Systématique du genre *Artemisia* au Maroc. Thèse de Doctorat d'Etat Es-Sciences, Fac. Sci. Tech. St-Jérôme, 373 p.
- Ouyahya A. et J. Viano, 1981. - Caryologie de taxons endémiques Marocains du genre *Artemisia* L. *Bol. Soc. Brot.*, 2, 53 (2), 907-919.
- Pottier-Alapetite G., 1981. - Flore de la Tunisie; Angiospermes- Dicotylédones, t. 2 : Gamopétales. Programme Flore et Végétation Tunisiennes, Publications scientifiques tunisiennes, 539 p.
- Quezel P. et S. Santa, 1962. - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Editions du C. N. R. S. Paris. tome 1 et 2, 1165 p.
- Stebbins G. L., 1950. - Variation and evolution in plants. New-York. 643 p.
- Valdes Bermejo E. et J. Gomez Garcia, 1976. - Notas cariosistematicas sobre flora espanala, I. *Acta Bot. Malacitana*, 2, 39-50.
- Ward G. H., 1953. - *Artemisia*, section *Seriphidium* in north America. A cytotaxonomic study. *Contr. Dudley Herbarium*, 4 (6), 155-205.

SELECTION CLONALE DE *STIPA LAGASCAE* R. & SCH.: UNE GRAMINEE PASTORALE PERENNE DES ZONES ARIDES.

VISSER M*, NEFFATI M**, LOUMEREM M**,
M'CHAREK A** & BEHAEGHE T*.

* Université de Gent, Faculté des Sciences Agronomiques et
Biologiques Appliquées, Département de Production
Végétale, Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgique

** Institut des Régions Arides, 4119 Médenine, Tunisie

RESUME

Des travaux de mise en collection, de sélection et de production de semences de *Stipa lagascae* R. & Sch., une graminée pérenne d'intérêt pastoral, ont été réalisés à l'Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie à partir de 1992. Trois campagnes de collecte successives ont permis l'installation de 708 lignes issues de 205 provenances. A partir des semences issues de trois campagnes de sélection effectuées au sein de cette collection de base en sec, deux collections de production de semences en irrigué et une collection améliorée en sec ont été établies. La conservation de l'identité des lignées durant ces travaux a permis de constater que l'espèce est autogame par cléistogamie, et d'adapter par conséquent le schéma de sélection pour prendre en considération l'impossibilité de croisement spontané entre les lignées sélectionnées.

La vigueur végétative, en tant que caractère principal déterminant la « pâturabilité », a été évaluée visuellement au niveau de chaque ligne, aussi bien dans la collection de base que dans ses collections dérivées. Des résultats relatifs à la variabilité inter-lignées, dans le temps et dans l'espace de la vigueur végétative sont présentés dans cet article. Leurs implications pour la réhabilitation des terres dégradées par resemis y sont discutés.

Mots clés : *Stipa lagascae* ; graminées pérennes ; sélection clonale ; production de semences ; autogamie.

SUMMARY

Collection, selection and seed production of *Stipa lagascae* R. & Sch., a perennial grass of pastoral value, has been going on at the Institute of Arid Regions, Medenine, Tunisia since 1992. Three collecting campaigns have led to the installation of 708 lines, originating from 205 accessions. Through three successive selection campaigns, performed within this rain fed primary collection, selected lines have issued seeds for the establishment of two irrigated seed production collections for one rain fed improved collection. Conservation of the identity of the lines and their progenies throughout these activities has permitted to observe that the species is autogamous by cleistogamy, and to adapt the selection scheme by taking into account the impossibility for the selected lines to cross spontaneously.

Vegetative vigour, as being the prime character determining grazability, has been evaluated visually for every line in the primary collection as well as in the collections derived from it. In this article, results about the variability between lines, in space and in time are presented. Their implications for the rehabilitation of degraded land through reseeded are discussed.

1. INTRODUCTION

En Tunisie aride, l'idée de réhabiliter des terres dégradées par la réintroduction d'espèces autochtones n'est pas nouvelle. Plusieurs travaux ont déjà été menés dans ce sens (Ferchichi & Neffati, 1992; Aronson *et al*, 1993, Le Floc'h, 1993; Le Floc'h *et al*, 1994; Neffati, 1994). Ces travaux se rapportent à plusieurs aspects:

- choix des espèces et de mélanges d'espèces les plus appropriés,
- période et techniques du semis,
- conditionnement et conservation des semences,
- dynamique de germination, installation et survie des plantules sous différentes conditions (pluviométrie, exploitation).

Toutefois, un des facteurs méconnus dans la conception de la réhabilitation par réintroduction des espèces autochtones en zone aride est l'origine des semences. Ce facteur peut pourtant déterminer la réussite à long terme d'une telle démarche. En absence d'informations pertinentes sur une espèce particulière, la méthode la plus prudente de la réintroduire dans un site dégradé serait de collecter ses semences dans un maximum de sites proches du site-cible et sur un maximum d'individus. Ainsi, un projet de réhabilitation courrait le minimum de risques d'échec suite à une maladaptation génétique des semences aux conditions édapho-climatiques du site. Ce raisonnement impliquerait de procéder à la collecte et à la multiplication de semences par projet et par site (Knapp & Rice, 1994 & 1996).

Cette approche peut être qualifiée de conservatrice: utiliser le matériel génétique **localement disponible** conviendrait le mieux s'il s'agit de reconstituer des populations génétiquement viables d'espèces spontanées agronomiquement mal connues. Mais en zone aride tunisienne, ce raisonnement a besoin d'être nuancé. Plusieurs considérations sont à prendre en compte:

1. Le sud tunisien vit une **emprise agricole** croissante, entraînant une érosion sans précédent de ses ressources naturelles (Le Houérou, 1991; Sarniquet *et al*, 1995). La superficie de sites-cible dégradés et à réhabiliter l'emporte déjà largement sur la superficie de sites susceptibles d'abriter les espèces autochtones à réintroduire. Dans ce contexte, il serait écologiquement imprudent de reporter la collecte de semences d'espèces-cibles au moment de la naissance d'un projet de réhabilitation d'un site-cible particulier. En attendant ce moment, il y a risque de voir disparaître à proximité de ce site-cible les sites abritant les espèces en question. Le besoin se manifeste donc de conserver certaines espèces menacées de disparition et d'en produire des semences **en anticipant** leur disparition.

2. Face à ce devoir d'anticipation, la zone aride tunisienne a l'avantage de sa faible étendue en comparaison avec la grande ceinture aride nord-africaine qui s'étend sur des milliers de kilomètres du Maroc à l'Égypte. En prenant le siège de l'IRA à Médenine comme base pour des opérations de resemis, la distance maximale d'un site-cible dépassera rarement les 200 km. Il est donc envisageable de mettre en place une production **locale** de semences d'espèces **autochtones**, destinée à desservir toute la zone aride tunisienne, sans grand risque de délocaliser des écotypes adaptés à des conditions édapho-climatiques trop différentes.

3. A terme, la mise en culture des steppes signifie des pertes irréversibles des meilleures terres arides par érosion, alors que seules les espèces autochtones sont capables d'en assurer une conservation durable. Si l'**emprise agricole** en zone aride tunisienne risque de se perpétuer, voire de s'amplifier, attendre la **déprise agricole** pour réintroduire des espèces autochtones dont les semences sont produites par anticipation, serait toujours écologiquement imprudent. Dans ce cas, pour intégrer **conservation des espèces autochtones** et **conservation des terres arides mises en culture**, il faut songer à la réintroduction de ces espèces au sein des systèmes agropastoraux. Leur exploitation sous forme de pâturage nécessite une réflexion sur leur adaptation génétique, non seulement aux conditions édapho-climatiques de réintroduction, mais également à leur exploitation par pâturage. Dès lors, la variabilité infraspécifique de la "pâturabilité" d'une espèce entre en jeu. Dans des conditions édapho-climatiques données et pour une espèce donnée, les génotypes productifs et persistants sont *a priori* préférables aux génotypes improductifs et chétifs.

La prise en compte de ces considérations signifie que l'approche conservatrice proposée par Knapp et Rice (1994 & 1996) vis-à-vis de l'adaptation génétique ne suffit pas à *elle seule* dans un contexte d'érosion génétique sévère. Des collections vivantes, rassemblant dans un milieu homogène un grand nombre de provenances les plus diverses possibles, permettent alors d'atteindre plusieurs objectifs à la fois:

- assurer la conservation de certaines espèces menacées de disparition,
- étudier leur diversité infraspécifique
- servir comme base de départ pour la production de semences génétiquement adaptées.

Ce raisonnement était à l'origine d'un projet de coopération entre l'IRA, Médenine et la Faculté des Sciences Agronomiques de Gand (Belgique). Son objectif est de combiner la conservation de quelques espèces pastorales à l'utilisation pratique de la biodiversité locale, en produisant des semences par une démarche agronomique. C'est dans le cadre de ce projet que le présent travail a été mené. Il vise à:

- décrire brièvement les grandes étapes du projet pour son espèce-cible prioritaire,
- présenter les premiers résultats sur la variabilité infraspécifique de la vigueur végétative, obtenus par la méthode d'évaluation visuelle,
- ébaucher sur la base des données déjà recueillies les thèmes à analyser et à étudier en prenant appui sur les collections établies dans le cadre du projet.

2. Matériel et méthodes

Le choix de l'espèce-cible prioritaire du projet a porté sur *Stipa lagascae* R. & Sch.. Les raisons ayant conduit au choix de cette espèce sont en effet multiples. Il s'agit d'une graminée pérenne à valeur pastorale, mais résistante au pâturage, partiellement en raison de son potentiel de régénération (Waechter, 1982). *Stipa lagascae* est caractérisée par une large amplitude écologique et distribution géographique. Elle existe du Maroc, au Moyen Orient et peut prospérer dans l'ensemble des zones sous bioclimats aride supérieur à saharien supérieur, dans des situations édaphiques diverses, s'associant à des groupement végétaux variés. Ses populations sont à la fois étendues et très fragmentées en raison du surpâturage (occurrence sous forme de plages de superficie plus ou moins limitées) et de la fragmentation physique des steppes elles-mêmes.

Notre démarche de conservation de cette espèce, simultanément à la mise en route d'une production de semences, comporte quatre phases qui se chevauchent partiellement:

1. créer une collection de base en sec,
2. observer et sélectionner sur la "pâturabilité" dans la collection de base,
3. tester les lignées sélectionnées dans d'autres milieux (en sec),
4. multiplier les semences des lignées sélectionnées (en irrigué).

Une phase ultérieure consiste en des exploitations-test des lignées sélectionnées dans des systèmes agropastoraux concrets, qui pourrait être entamée en collaboration avec les acteurs locaux. Cette phase nécessite cependant une démarche multidisciplinaire qui pose encore de nombreux problèmes d'ordre organisationnel.

La **Figure 1** illustre la mise en oeuvre de ces quatre phases et les rapports qui existent entre elles. La collection de base au siège de l'IRA à El Fje se situe au coeur de l'ensemble et constitue le point de départ des collections établies ailleurs (à Chenchou, à 95 km au nord-ouest d'El Fje, et à Ben Guerdane, à 80 km au sud-est d'El Fje). De ces différentes réalisations, le présent travail traite plus en détail l'installation et le suivi de la collection de base en sec à El Fje et d'une première collection de lignées sélectionnées en irrigué à Chenchou (appelée par la suite Chenchou II).

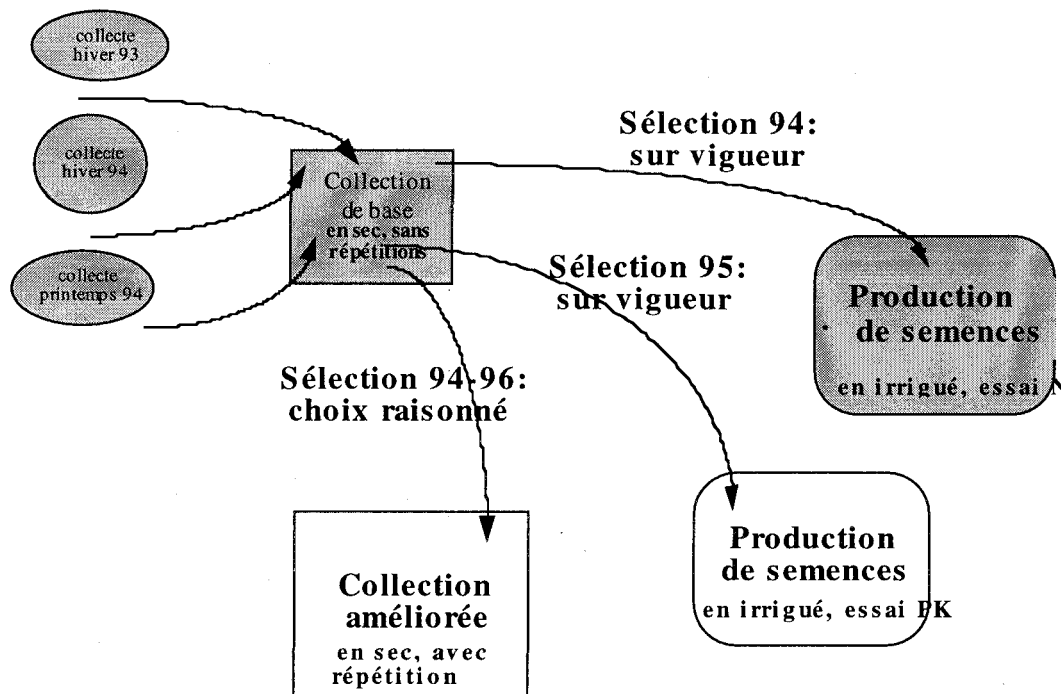


Figure 1. La production de semences de *Stipa lagascae* à l'Institut des Régions Arides. *Mis en relief: collections faisant l'objet d'une analyse dans le présent article.*

2.1. Creation de la collection de base a El Fje et de la collection de Chenchou ii

2.1.1. Mise en oeuvre d'un schéma directeur classique

Pour démarrer, nous avons suivi un schéma classique d'un programme de sélection d'une graminée fourragère. Ce schéma intègre le principe de la collection de base en sec et part de l'hypothèse que la graminée est essentiellement **allogame**, donc hétérozygote, avec ségrégation des caractères agronomiques qui nous intéressent dans leurs descendances. La collecte consiste par conséquent en une transplantation par éclats de souche (création de clones) de pieds individuels, de provenances différentes, dans un même terrain homogène. Dans la mesure du possible, une sélection *in situ* a précédé la mise en collection, en recherchant les sites exposés au pâturage. Au sein de ces sites, les pieds broutés, et parmi les broutés les plus vigoureux ont été préférés, tout en évitant des pieds voisins. Toujours selon le même schéma, l'enjeu était de procéder assez rapidement à une première sélection d'un nombre limité de clones, dont les semences issues de pollinisation libre seraient récoltées séparément. L'étude comparative des performances de leurs descendances, parallèlement à la continuation de l'étude des performances de l'ensemble des clones dans la collection de base, permettrait de procéder à une deuxième sélection de clones dans la collection de base. Ainsi, trois ou quatre campagnes d'observation, de semis dans un deuxième milieu en sec, et de comparaison des performances entre parents et descendances, auraient donc suffi pour produire une **première variété synthétique**. Cette variété synthétique serait composée de quelques clones choisis dans la collection de base qui, par pollinisation libre, livreraient les premières semences de base améliorées de *Stipa lagascae*. Le choix *rapide* d'un nombre *limité* de clones se justifie par leur hétérozygotie et la possibilité de ségrégation et recombinaison de caractères. Grâce à l'allogamie, même un nombre limité de clones producteurs de semences de base assurerait aux populations ainsi reconstituées une variabilité génétique suffisante pour qu'elles puissent évoluer et s'adapter sous l'influence des conditions du milieu de réintroduction.

2.1.2. Collectes et installation dans un même milieu

Les premières collectes ont eu lieu à la suite des premières pluies ayant provoqué le démarrage de la végétation spontanée (décembre 1992), et se sont poursuivies jusqu'à la montaison des inflorescences (mars 1993). Cette période s'est avérée trop courte pour compléter les prospections, qui se sont donc étalées sur deux campagnes successives: 92-93 et 93-94. En raison des transplantations trop tardives et l'échec consécutif d'une grande partie des éclats transplantés en 93-94, nous avons été contraints de procéder à une troisième campagne de collecte, mais cette fois-ci par la récolte de semences par individu en mai 94 et leur semis en automne 94.

La collection de base est donc constituée de trois catégories, issues d'autant de campagnes de collecte et d'installation et appelées Plant93, Plant94 et Semis94. En année d'installation, chaque groupe a reçu des irrigations d'appoint jusqu'au premier été qui a suivi leur installation. Plant93 et Plant94 ont reçu une fertilisation en N ($100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) et en P ($150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) au début des deux campagnes qui ont suivi l'année de leur installation. Semis94 a été fertilisé de la même façon, mais déjà en année d'installation et l'année d'après (Tableau 1).

Avant ou après chaque saison estivale, toute la collection a été fauchée. Chaque catégorie a commencé à faire l'objet de campagnes de sélection dès l'année qui a suivi l'année d'installation. Ce n'est qu'à partir de la campagne 95-96 que la collection entière était définitivement installée. C'était également la première campagne au cours de laquelle la collection entière a fait l'objet d'une sélection. Les trois catégories de la collection de base ne se trouvent donc pas au même degré d'évaluation: Semis94 n'a fait objet que d'une seule sélection: en 96. Plant94 en a déjà subi deux: en 95 et en 96. Plant93 en a subi trois: en 94, en 95 et en 96.

Tableau 1. Calendrier 1992-1996 des principales phases parcourues par les trois catégories d'individus de *Stipa lagascae* constituant la collection de base d'El Fje: Plant93, Plant94 et Semis94.

	92-93	93-94	94-95	95-96
Plant93				
Collecte	_____ hiver _____			
Installation	_____ hiver _____			
Fertilisation		_____ hiver _____	_____ hiver _____	
NP				
Sélection		_____ avril _____	_____ hiver _____	_____ hiver _____
Plant94				
Collecte		_____ hiver _____		
Installation		_____ hiver _____		
Fertilisation			_____ hiver _____	_____ hiver _____
NP				
Sélection			_____ hiver _____	_____ hiver _____
Semis94				
Collecte		_____ mai _____		
Installation			_____ octobre _____	
Fertilisation			_____ hiver _____	_____ hiver _____
NP				
Sélection				_____ hiver _____

2.1.3. Evolution des lignes après mise en collection

Les deux campagnes de transplantation ont été réalisées de la même façon. Chaque individu a été subdivisé en 10 éclats de souche. Ces éclats ont été plantés en lignes de 3 m de longueur et espacées de 1 m. Chaque clone de 10 pieds ainsi établi constitue par la suite une ligne d'observation. Dans le suivi de la survie des lignes, nous considérons qu'une ligne n'est pas perdue tant qu'elle contient au moins un pied survivant. Les résultats des trois campagnes de collecte, exprimés en termes de nombres de lignes et de provenances, sont résumés au **Tableau 2**.

Tableau 2. Nombre de provenances et de lignes mises en collection par campagne et taux de réussite à l'installation (%)

Campagne	Mise en collection		Survie en mai 96			
	Individus Nombre	Provenances Nombre	Lignes		Provenances	
			Nombre	%	Nombre	%
Plant93	384	72	275	72	69	96
Plant94	290	55	66	23	23	42
Semis94	450	113	367	82	113	100
TOTAL	1124	240	708	63	205	85

Le suivi du nombre de pieds survivants de Plant93 (**Figure 2**) montre une grande perte initiale en lignes et en pieds après transplantation. Au bout de 15 mois, le nombre de pieds et de lignes survivants s'est stabilisé. Cette évolution s'est reproduite pour Plant94, avec la différence que les pertes de la campagne94 ont été bien plus importantes que celles de la campagne 93. Ainsi, seulement 23% du nombre initial des lignes transplantées en 1994 ont survécu avec au moins un pied, alors que ce taux atteint 72% du nombre initial des individus transplantés en 93.

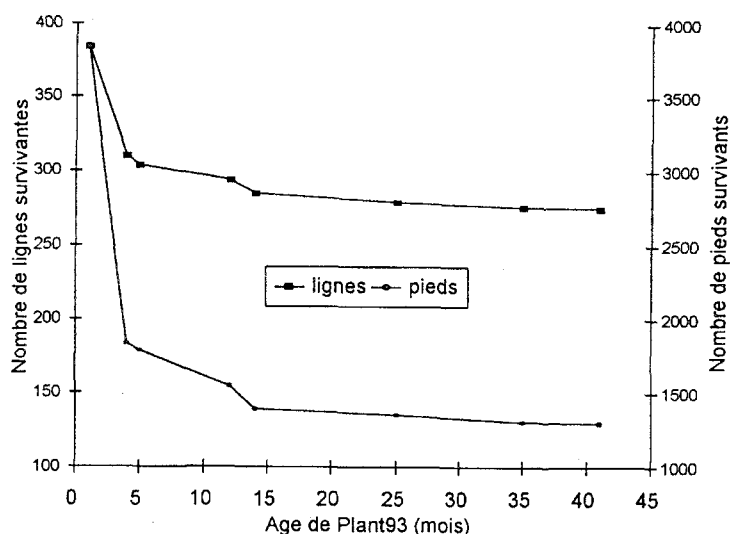


Figure 2. Evolution du nombre de lignes et de pieds survivants après transplantation de Plant93

La diminution brusque du nombre de pieds et de lignes entre mois 10 et 15 est due à l'enlèvement d'un certain nombre de pieds pour transplan-tation dans une parcelle de production de semen-ces en irrigué; il ne s'agit donc pas d'une mortalité naturelle.

Après la première saison aestivale, la diminution du nombre de pieds est très faible et va de paire avec une diminution du nombre de lignes. Ceci signifie qu'il s'agit surtout de lignes dont seulement un ou deux des 10 éclats d'origine avaient survécu au premier été mais qui ont néanmoins disparu par la suite, faisant perdre ainsi la ligne elle-même.

La récolte de semences en mai 94 et leur semis en octobre 94 ont également été réalisés par individu. La quantité et la qualité de semences collectées par individu étaient variables et généralement faibles. Toutefois, malgré une levée hétérogène et rarement complète, le **Tableau 2** montre que le semis a permis de réduire les pertes à 18% pour les lignes et 0% pour les provenances.

A la fin de l'année 1996 la collection de base était constituée de 708 lignes (chaque ligne provenant d'un individu collecté), issues de 205 provenances, ce qui représente 63% du nombre de lignes et 85% du nombre de provenances mises en collection initialement. En principe, en moyenne quatre à cinq individus ont été collectés de chaque provenance, mais en raison de la réussite partielle des installations, 15% des provenances ont été perdues entièrement et les provenances restantes sont représentées par un nombre variable d'individus, dont le nombre de pieds survivants est presque toujours inférieur au nombre planté ou semé.

2.1.4. Installation de Chenchou II

Les 48 lignées semées dans la parcelle de production de semences en irrigué à Chenchou II sont toutes issues de Plant93; elles en constituent la sélection de 94. La parcelle comporte 16 planches de submersion de 4 m sur 12,5 m, permettant le semis sur cinq rangées espacées de 1 m. Les deux rangées de bordure ont été semées avec des semences tous-venants. Sur les trois rangées centrales d'une planche, 24 lignées ont été semées au hasard en huit lignes espacées de 0.5 m.. Ainsi, l'ensemble des 48 lignées a été semé en huit séries, chaque série occupant deux planches consécutives. Le semis a été réalisé en octobre 94; à deux lignes près, la levée a été complète.

Cette parcelle de production de semences comprend en même temps un essai de fertilisation en N sous fertilisation de base constante en P (100 kg. ha⁻¹). 4 niveaux de fertilisation ont été appliqués: 0, 50, 100 et 150 kg.ha⁻¹ de N, et ce par fractions de 25 kg. ha⁻¹ au cours de la campagne. Une planche étant une répétition, chaque niveau de fertilisation a été appliqué quatre fois. Puisque chacune des huit séries de semis occupe deux planches, les quatre niveaux de fertilisation en N ont été appliqués avec deux répétitions par lignée.

A partir du mois d'octobre et jusqu'à la formation de graines, la parcelle est irriguée par submersion avec un tour d'eau variant entre deux et trois semaines.

2.2. Biologie florale et adaptation du schéma de sélection

Durant ces premières activités de conservation, plusieurs types d'observations sur la biologie florale de *Stipa lagascae* ont montré que, contrairement à notre hypothèse de départ, *Stipa lagascae* est 100% autogame par cléistogamie (**Figure 3**). Ce constat nous a permis de collecter les graines des individus choisis *in situ* au cours du printemps qui a suivi la campagne de transplantation de 94, et à la fois il nous a conduit à adapter notre schéma de sélection à la non-allogamie. Les conséquences de la cléistogamie sont en effet multiples:

1. Les génotypes sont fixés, donc homozygotes purs. Non seulement la recombinaison est exclue, mais également la ségrégation de caractères dans les descendance d'un parent autopollinisé. Le génotype d'un parent donné (ligne) se conserve parfaitement dans sa descendance (lignée).

2. Sur le plan pratique, les possibilités de croisement manuel sont limitées, sinon exclues.

3. Contrairement au cas d'une graminée pérenne allogame, il est impératif d'observer les mêmes lignes durant plusieurs années consécutives et les mêmes lignées dans plusieurs milieux distincts. Par la suite, il faudrait procéder, plutôt qu'à une sélection d'un nombre restreint de génotypes, à un choix raisonné d'un grand nombre de génotypes distincts, et d'origines géographiques différentes, pour conserver un maximum de variabilité de départ au sein des populations réintroduites.

4. Dans le processus de collecte, sélection et production de semences, l'identité des lignées individuelles doit être soigneusement décrite (en termes d'origine, comportement, phénologie) et conservée. Par exemple, dans la conception des parcelles de production de semences en irrigué, il est nécessaire de procéder à un semis qui conserve l'identité des lignées. Ainsi, au cours de la phase ultérieure (exploitation à échelle réelle), des mélanges de lignées peuvent être composés sur mesure, en fonction du site de réintroduction.

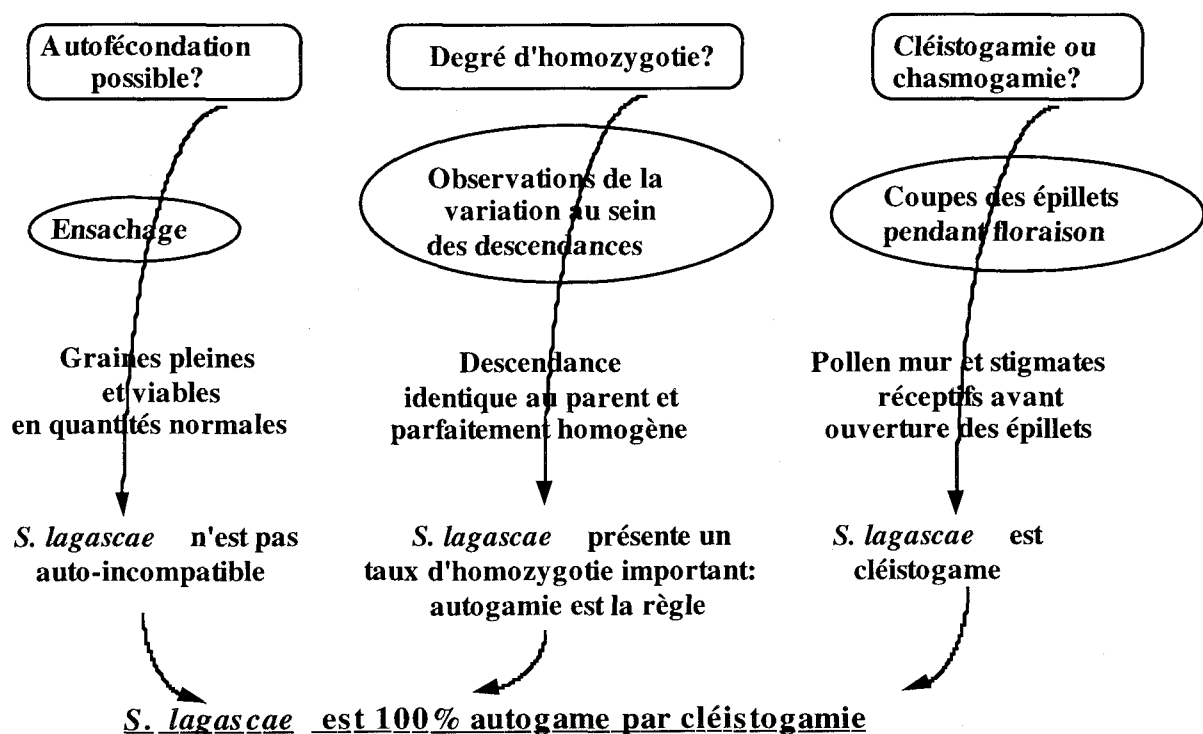


Figure 3. Etude de la biologie florale de *Stipa lagascae*

2.3. La "pâturabilité"

2.3.1. Critères de "pâturabilité" en zone aride

Dans la collection de base, les lignées les plus "pâturables" sont recherchées. Ignorant les caractères qui déterminent la "pâturabilité" d'une graminée pastorale en zone aride, nous avons choisi de travailler *a priori* avec les critères de sélection adoptés pour les graminées de pâture des régions tempérées, pour éventuellement les adapter aux zones arides ultérieurement.

En zone tempérée, l'aptitude aux pâturage d'une graminée est essentiellement déterminée par trois caractères, qui peuvent interagir:

- la vigueur végétative: potentiel de production de feuilles et de talles,
- la longueur de la période végétative
- la persistance.

Pour une espèce donnée et dans un milieu donné, un génotype se prête bien au pâturage s'il est vigoureux, reste longtemps végétatif (monte tardivement) et s'il persiste sous pâturage:

- par sa **vigueur**, il peut être pâturé à plusieurs reprises au cours d'une même saison,
- par sa **tardivité**, il prolonge la saison de pâturage,
- par sa **persistance**, il peut survivre sous ce pâturage répété et prolongé tout en restant productif pendant plusieurs saisons successives: le pâturage répété ne compromet pas sa **pérennité**.

Enfin, un génotype véritablement supérieur par son aptitude au pâturage conserve ses qualités dans des milieux autres que celui de la collection de base (mais toujours en sec), notamment sous exploitation. Seuls des tests dans d'autres milieux permettent d'évaluer la **stabilité** de ses performances.

Etant donné les objectifs de notre démarche, la vigueur végétative constitue le caractère principal à observer. A présent, le suivi du groupe d'installation Plant93 de la collection de base et la comparaison des performances en sec de la sélection 94 avec les performances des mêmes lignées en irrigué (Chenchou II) a donné les résultats les plus perceptibles. Ils portent essentiellement sur la variabilité **inter-lignées**, dans le **temps** et dans l'**espace** de la vigueur végétative.

2.3.2. Evaluation visuelle de la vigueur végétative

Au cours d'une campagne d'observation, chaque ligne à l'intérieur d'une collection donnée reçoit plusieurs notes. Une note est constituée d'un chiffre variant de 1 à 5, exceptionnellement 0 ou 6, et donnée à l'occasion d'une **évaluation visuelle** de la vigueur végétative de la ligne. L'échelle de 1(0) pour les lignes les moins vigoureuses à 5(6) pour les lignes les plus vigoureuses est créée par l'observateur. Le chiffre donné à une ligne particulière pour un aspect donné reflète l'appréciation par l'observateur de la ligne **en valeur relative** par rapport aux autres lignes de la série. Un indexage comporte toute la série de notes données à l'ensemble des lignes constituant la collection à évaluer dans un milieu donné et considéré homogène. Un nombre variable d'indexages par campagne ont été réalisés. Le **Tableau 3** donne le nombre d'indexages par campagne pour la collection de base d'El Fje et celle de Chenchou II.

Tableau 3. Nombre d'indexages par année pour Plant93 et pour Chenchou II.

Campagne	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97*	Total
Plant93	2	4	10	9	6*	31
Chenchou II	-	-	11	5	4*	20

* Campagne incomplète

Une **note annuelle** d'une ligne donnée est calculée comme la somme des notes reçues au cours de la campagne, rapportée à la note annuelle maximale (=5n, n étant le nombre d'indexages effectués durant cette campagne). La note annuelle est donc exprimée comme un pourcentage. En sec (collection de base à El Fje, sans répétitions), la **note globale** d'une ligne (= lignée) est la note cumulée de toutes les campagnes d'observation, rapportée à la note globale maximale. En irrigué (à Chenchou II), chaque lignée est représentée par huit lignes, sous quatre niveaux de fertilisation azotée différents. Par traitement, une **note partielle** est calculée comme la moyenne des notes annuelles de toutes les lignes ayant subi ce traitement. La note globale d'une lignée donnée, tous traitements confondus, égale alors la moyenne des notes partielles.

2.3.3. Evaluation visuelle avec sélection instantanée

En plus des notes évaluant la vigueur végétative plusieurs fois au cours de l'année, des campagnes de sélection instantanées sont effectuées une seule fois par an, pendant la croissance végétative. Une campagne de sélection comporte un indexage sur la vigueur globale, immédiatement suivi par une sélection de lignes qui se distinguent:

- soit par une note de 5 ou de 6;

- soit par une note de 3 ou de 4, si au voisinage il n'y a pas de lignes avec un 5 ou un 6.

Cette méthode permet de tenir compte d'éventuelles légères variations des conditions du terrain qui peuvent influencer la vigueur d'un voisinage, et d'équilibrer la sélection entre les provenances, même si certaines d'entre elles ne se distinguent jamais par des notes de 5 ou de 6. Les lignes sélectionnées ne correspondent donc *pas nécessairement* aux lignes les plus vigoureuses.

3. Résultats

3.1. Collection de base, Plant 93

3.1.1. Différenciation des lignées selon leur vigueur globale

Le calcul d'une note globale pour chacune des 275 lignes de Plant93 qui ont été suivies pendant 5 campagnes successives (92-97, cinquième en cours) mène à un classement global qui donne un rang de 1 à 275 à chaque ligne selon sa note globale. Sur la Figure 4 sont portées les notes globales des 275 lignes par rang avec les notes annuelles minimales et maximales. La moyenne et l'écart-type des notes globales et des écarts entre les notes annuelles extrêmes sont consignés dans le Tableau 4. Plusieurs constats sur la distribution de ces notes se dégagent:

Tableau 4 Moyenne et écart-type des notes globales et des écarts entre notes annuelles extrêmes des 275 lignes de Plant93 (%)

	Notes globales	Écarts (92-97)	Écarts (93-96)
Moyenne	51.7	36.5	22.6
Écart-type	13.4	16.5	12.8

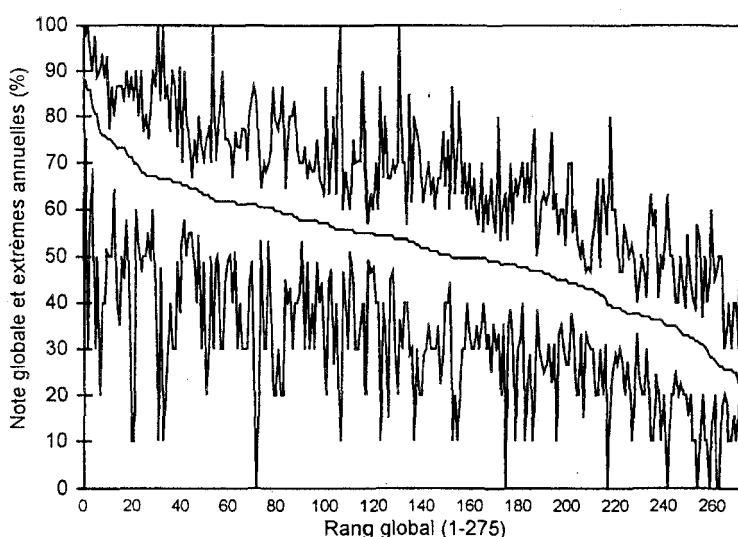


Figure 4. Classement en ordre décroissant des 275 lignes de Plant93 selon leur note globale

1. La plupart (184 des 275 lignes) a une note globale comprise entre 65.1 et 38.0%, soit la moyenne \pm l'écart-type. Seules 40 lignes ont obtenu une note globale supérieure à 65.1%.

2. L'allure des courbes qui relient les extrêmes suit la courbe des notes globales, à quelques grands pics près. Ces pics extrêmes correspondent respectivement à des notes annuelles de l'année en cours (96-97, maxima), où il n'est pas encore tenu compte de la période de croissance active, et à l'année d'installation (92-93, minima). Si le calcul des moyennes des notes annuelles et de leurs écarts extrêmes n'inclut pas ces deux années particulières, l'écart moyen se réduit d'un tiers (de 36.5% à 22.6%), et son écart-type d'un quart (de 16.5% à 12.8%). Un écart moyen de 22,6% correspond à un peu plus qu'une unité dans l'échelle de 1 à 5 au niveau de la note individuelle.

3.1.2. Survie différenciée de Plant93

La diminution du nombre total de pieds survivants en parallèle avec une diminution du nombre de lignes (Figure 2) fait déjà soupçonner qu'un certain nombre d'individus ne se sont pas installés, non pas à cause d'une transplantation trop tardive ou d'un manque de soins, mais parce qu'ils étaient génotypiquement trop chétifs. En effet, le graphique (Figure 5) montre une concordance entre le nombre de pieds survivants en mai 96 d'une ligne donnée et sa note globale pendant la période 92-97. Les lignes constituées d'un faible nombre de pieds se classent souvent parmi les moins vigoureuses, et ce malgré la possibilité de profiter d'un important effet de bordure.

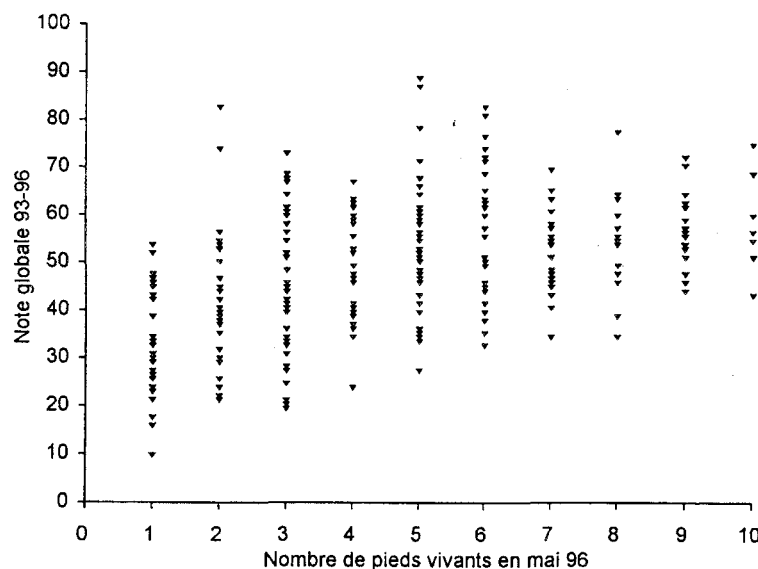


Figure 5. Plant93: Nombre de pieds survivants en mai 96 et note globale par ligne

3.1.3. Lignées fidèles et éphémères

La sélection d'une ligne donnée se fait par rapport à sa catégorie d'installation. Les lignes sélectionnées se regroupent selon leur appartenance, l'année de sélection et la récurrence de sélection. En décembre 1996, les 275 lignes issues de Plant93 avaient subi trois campagnes de sélection successives (94-96). Tableau 5 montre que parmi ces 275 lignes, 84 (31%) ont été sélectionnées au moins une fois. De ces 84 lignes, 12 lignes (14%) ont été sélectionnées trois années consécutives. Ces lignes sont à considérer comme fidèles mais pas nécessairement supérieures en termes de vigueur végétative. Par contre, 55 lignes (65%) n'ont été sélectionnées qu'une seule fois: 26 lignes en 94, 11 lignes en 95 et 18 lignes en 96. Elles peuvent être qualifiées d'éphémères.

Tableau 5. Degré de récurrence (1, 2, ou 3x) des lignes sélectionnées de Plant93 après trois campagnes de sélection (94-96)

Qualification de la ligne	Sélection 94	Sélection 95	Sélection 96	Nombre total
Fidèle (3x)	12	12	12	12
Intermédiaire (2x)	8	8	7	17
	2	7	2	
Ephémère (1x)	26	11	18	55

3.1.4. Evolution individuelle des 25 premières lignes du classement global:

La Figure 5 montre l'évolution des notes annuelles des 25 meilleures lignes de Plant93. La comparaison des courbes entre elles et avec les résultats des campagnes de sélection permet de constater que:

1. La variabilité entre ces meilleures lignes est remarquable. Même s'il s'agit d'un groupe relativement homogène (leur note globale ne diffère au maximum que de 20%), chaque ligne montre une évolution nettement différente des autres. Certaines de ces lignes ne se sont exprimées qu'à partir de la troisième année (116 par exemple). D'autres ont été vigoureuses en année d'installation, mais ne se sont pas confirmées par la suite (72 par exemple). D'autres encore sont restées relativement stables au cours des quatre campagnes de suivi (171 par exemple).

2. Des 12 lignes sélectionnées trois fois consécutives, 8 se trouvent parmi les 25 premières alors (les 4 autres ayant les rangs 29, 36, 74 et 84 sur 275). Jusqu'à décembre 1996, ces 8 lignes ont été fidèles dans leur vigueur végétative supérieure. Parmi ces 25 premières, 2 lignes n'ont jamais été sélectionnées. L'une (24, rang 14) s'est progressivement améliorée et risque d'être sélectionnée pour la première fois en 96-97. Les notes annuelles de l'autre ligne (75, rang 24) se sont progressivement détériorées. Les deux toutes premières lignes (171 et 147) se distinguent nettement par leur évolution. La deuxième ligne s'est progressivement améliorée et la première a gardé le même niveau. La deuxième position de la ligne 147 est due précisément à sa très mauvaise note (30%) en année d'installation. Cette note contraste fort avec 103% pour la campagne 96-97, alors que la ligne 171 a reçu de bonnes notes dès l'année d'installation.

3. Malgré la période non-optimale (avril, période de floraison) de la première sélection en 94, 15 lignes (dont les 8 fidèles) des 48 lignes sélectionnées se trouvent parmi les 25 premières lignes. Les 27 autres ont un rang compris entre 29 et 244 dans le classement global.

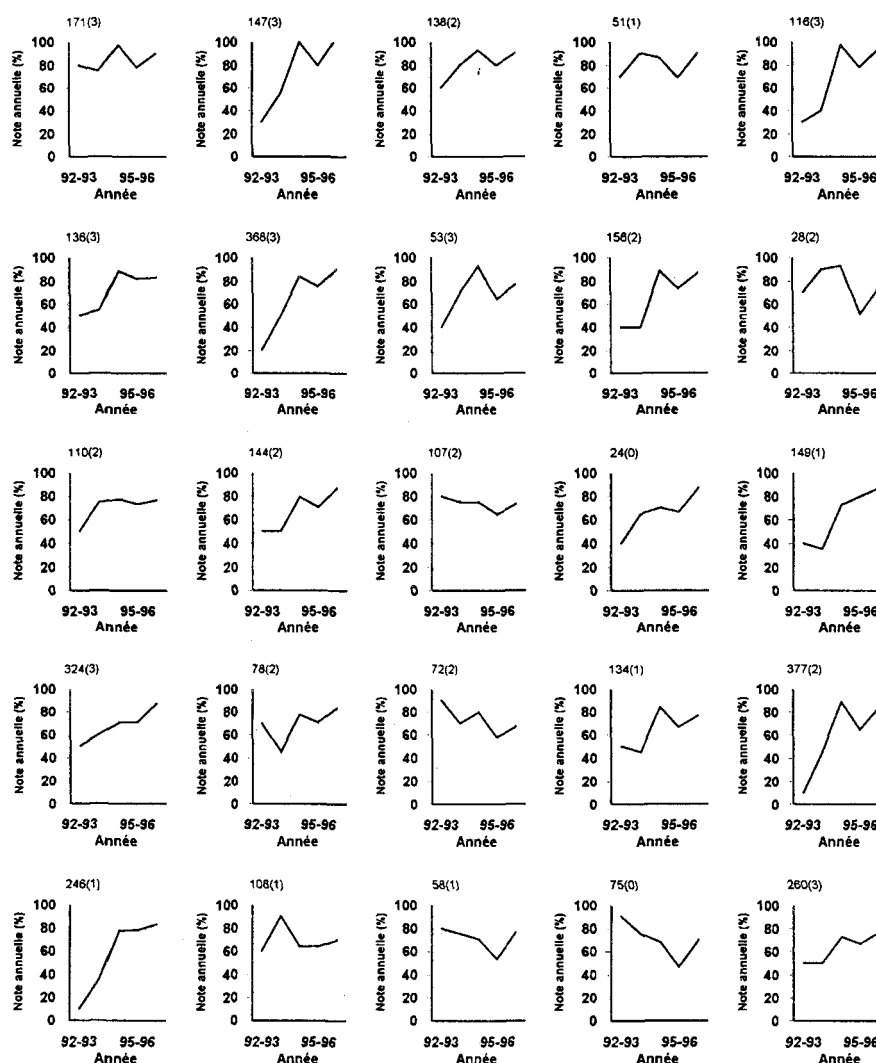


Figure 6. Evolution des notes annuelles des 25 premières lignes du classement de Plant93 selon la note globale 92-97. 171: numéro de ligne; (3): nombre de sélections sur trois campagnes (94-96).

3.2. Sélection 94 parmi Plant93: comparaison des performances en sec et en irrigué des mêmes lignées

Des 348 lignes (8x48 lignées) suivies de Chenchou II, des notes annuelles sur 3 campagnes (94-97) ont été calculées. Jusqu'à la troisième campagne d'observation, seulement les planches témoins se sont significativement différenciées des planches fertilisées tous niveaux confondus (Reguig, 1996). Pour cette raison, les 3 notes annuelles des 6 lignes fertilisées d'une même lignée ont été regroupées pour livrer une première note partielle. Le regroupement des 3 notes annuelles des 2 lignes non-fertilisées c livre la deuxième note partielle. Ainsi, pour chacune des 48 lignées en irrigué, deux notes partielles ont été comparées. Figure 7a compare la moyenne de ces deux notes partielles (note globale en irrigué) avec la note globale en sec, et ce en partant d'un classement basé sur la note globale en sec. Figure 7b part d'un classement basé sur la note globale en irrigué pour comparer les deux notes partielles en irrigué de chaque lignée. Plusieurs constats se dégagent:

1. En irrigué, la différenciation des lignées est moins nette qu'en sec.
2. Malgré cette faible différenciation en irrigué, il ressort du graphique que le classement en irrigué ne suit pas le classement en sec. Les lignées les plus vigoureuses en irrigué se situent en bas du classement en sec.
3. Globalement, les courbes des notes partielles des lignes fertilisées et témoins en irrigué sont parallèles. Ni les lignées les plus vigoureuses en sec, ni les lignées les plus vigoureuses en irrigué réagissent donc plus favorablement à la fertilisation azotée.
4. Malgré ce parallélisme global des courbes, les lignées se distinguent nettement entre elles quant à l'ampleur de réaction à la fertilisation azotée.

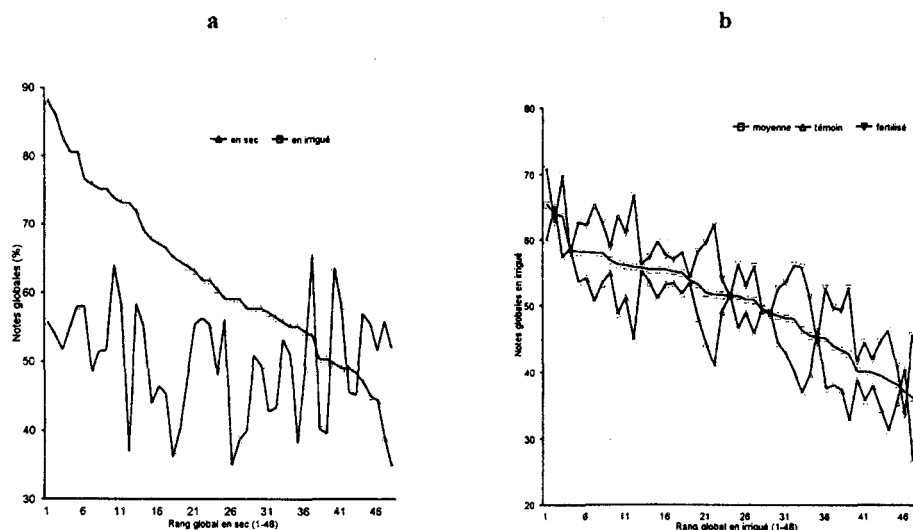


Figure 7. Notes globales en sec et en irrigué de Sél94 parmi Plant93. a: Notes globales en sec et en irrigué comparées en partant du classement global en sec. b: Notes partielles en irrigué (fertilisé et non-fertilisé) comparées en partant du classement global en irrigué.

4. Discussions

4.1. Réflexions sur l'installation de la collection de base.

Le démarrage d'une grande partie de la collection de base avec des transplantations par individu s'est montré difficile et long, contrairement à son achèvement par semis des graines récoltées par individu. L'hypothèse derrière les transplantations a été l'allogamie et l'hétérozygotie de *Stipa lagascae*. Précisément cette collecte par individu nous a permis de constater relativement aisément que *Stipa lagascae* est autogame et probablement 100% homozygote, ce qui n'aurait pas été aussi évident avec des collectes par provenance en vrac. Notre hypothèse d'allogamie s'est donc infirmée, ce qui nous a autorisé à récolter les graines par individu pour achever la collection. Ainsi, la collecte fastidieuse par individu s'est avérée cruciale, dans la mesure où elle nous a permis d'adapter à temps notre schéma de sélection de départ. Si la biologie florale de *Stipa lagascae* avait été connue au préalable, sa mise en collection aurait été moins lourde.

La biologie florale des espèces autochtones des zones aride est en général peu connue. Pourtant, elle joue un rôle de taille dans la structuration génétique des populations et dans le potentiel d'adaptation génétique de semences produites à des fins de réhabilitation. Notre expérience suggère qu'il serait utile d'entamer des recherches spécifiques sur la biologie florale des espèces autochtones des zones arides, à fin d'élaborer des schémas appropriés de conservation et de production de semences à l'échelle régionale.

4.2. Variabilité de la vigueur végétative entre les lignées et dans le temps

Avant que nous nous apercevions que *Stipa lagascae* est cléistogame, les effets combinés de l'aridité et de la phénologie propre à l'espèce nous suggéraient déjà une approche prudente dans la sélection, en prenant grand soin de conserver la collection de base telle qu'elle a été installée. La cléistogamie nous fournit une raison supplémentaire de continuer les observations. Nos données montrent que la vigueur végétative des lignes fluctue, ou évolue dans l'un ou l'autre sens à travers les années. La variabilité interannuelle de la pluviométrie joue un certain rôle pour expliquer ces fluctuations. Toutefois, la différenciation nette entre les lignes montrent qu'elles ne réagissent pas de façon uniforme à cette variabilité. Il importe donc de continuer les observations pour mieux étudier ces interactions, et pour parvenir à une meilleure caractérisation de chaque lignée. Plus d'analyses qui combinent les données sur la vigueur avec les données pluviométriques, phénologiques et sur la production (feuilles, inflorescences, semences) pourront alors être intégrées.

Nous insistons sur le caractère provisoire des sélections et des classements au milieu de la cinquième campagne d'observation. A titre d'exemple, la ségrégation de Plant93 en lignes fidèles, intermédiaires et éphémères en décembre 1996 est susceptible de changer au cours des années à venir. Il se peut, par exemple, que le nombre de 12 lignes fidèles diminuera, et que d'autres lignes émergeront comme étant plus fidèles, en fonction de leur phénologie interannuelle, leur pérennité, mais aussi en fonction des variations climatiques interannuelles. De façon analogue, le classement global des lignes d'un même groupe changera après chaque campagne. Certaines lignes très bien placées après cinq campagnes de suivi pourraient regresser dans le classement par la suite.

4.3. Variabilité de la vigueur végétative du sec en irrigué

La faible différenciation des 48 lignées en irrigué par rapport aux écarts de leurs rangs en sec peut s'expliquer par l'apparition d'une nouvelle contrainte liée à la levée des principaux facteurs limitant leur vigueur en sec.

En effet, il se peut que le semis relativement dense et l'apport d'eau et d'éléments fertilisants aient engendré une compétition entre les lignes individuelles qui a joué un rôle tampon dans l'expression des différences génotypiques. Cette densité de végétation est inexistante en sec. Néanmoins, cet effet ne peut pas avoir la même importance dans les planches non-fertilisées où, jusqu'à présent, la végétation n'a pas atteint le même niveau de densité. Pourtant, sur la Figure 7b, les trois courbes ont la même pente: les milieux relativement plus ouverts des planches témoins ne favorisent pas davantage la différenciation que les milieux relativement denses des planches fertilisées.

Malgré cette faible différenciation des lignées en irrigué, un certain renversement du classement global en sec est perceptible (Figure 7a). Ce renversement est la conséquence de l'irrigation et non pas de la fertilisation, puisque les trois courbes de la Figure 7b sont parallèles. Il semblerait par conséquent que la fertilisation en sec n'ait pas faussé le classement en sec (en privilégiant les génotypes les plus capables de réagir à un apport d'azote), mais, au contraire, qu'elle a favorisé l'expression génotypique, donc la différenciation de l'ensemble des lignées selon leur vigueur végétative. Dans ce cas, la faible différenciation des lignées dans les milieux relativement ouverts des planches témoins en irrigué serait plutôt due au manque d'azote, alors que la faible différenciation des mêmes lignées dans les planches fertilisées pourrait être attribuée à un effet de compétition.

Comme Knapp & Rice (1995) l'ont déjà suggéré, ce renversement du classement en sec dans le milieu de la production de semences comporte un risque de perdre les lignées les plus intéressantes après plusieurs cycles de multiplication de semences. En effet, en situation de densité de végétation élevée, les lignées les plus vigoureuses en sec perdraient la compétition avec les lignées moins intéressantes. Or, la multiplication de semences est souvent réalisée avec des parcelles ensemencées en vrac, en mélangeant les lignées sélectionnées. Les lignées les plus intéressantes risquent de périr inaperçument, et la qualité des semences issues de ces parcelles diminuera donc au cours des cycles de production. Outre les conséquences de la cléistogamie, ce risque constitue une deuxième raison pour conserver l'individualité des lignées dans la conception des parcelles de production de semences.

5. Conclusions

1. Dès le départ en 1992, notre projet de collection, sélection et production de semences pastorales de quelques espèces pastorales de la Tunisie aride était dirigé vers une utilisation pratique de la biodiversité locale au sein des systèmes agropastoraux. Le travail sur *Stipa lagascae* illustre cette démarche, et en montre quelques risques et goulots d'étranglement. Toutefois, pour que cette démarche reste pertinente, elle devrait être complétée par d'autres activités. Il conviendrait de tester les lignes sélectionnées sous exploitation à grandeur réelle, en collaboration avec quelques exploitants bien ciblés. Ces tests ajouteront de nombreuses connaissances supplémentaires aux connaissances déjà acquises, notamment sur la persistance, ou encore le rôle du cycle phénologique sous pâturage. De façon inverse, la collaboration avec les acteurs locaux pourrait les inciter à prendre des initiatives analogues: par exemple, pour d'autres espèces selon un modèle conservateur, avec une collecte locale ciblée sur un site particulier.

2. La cléistogamie et la grande variation infraspécifique de *Stipa lagascae* nous imposent un travail de labellisation de chaque lignée, en termes de:

- origine géographique,
- caractéristiques de la provenance,
- caractéristiques botaniques,
- et surtout, caractéristiques agronomiques.

L'intégration de ces données permettra de labelliser les lignées et d'en créer des mélanges, toujours composés d'un grand nombre de lignées, mais adaptables aux caractéristiques du site-cible et de l'usage attendu.

3. Les essais de production de semences en irrigué permettent d'augmenter, régulariser et optimiser la production de semences, mais seulement un faible nombre de lignées y est reproduit par rapport au total disponible en sec. Une réflexion est nécessaire sur l'utilité des parcelles installées à Chenchou en fonction de leur capacité de livrer les semences adéquates pour la composition de mélanges équilibrés.

4. Jusqu'à présent, le critère principal de sélection adopté pour des graminées fourragères en zones tempérées (vigueur végétative) semble également pertinent en zone aride. Toutefois, l'évolution à long terme et surtout sous exploitation (qui permettrait également d'évaluer la persistance) n'a pas encore été saisie. Le critère de la longueur de la période végétative est souvent corrélé avec la vigueur végétative en région tempérée mais pourrait s'avérer discutable en zone aride. En effet, en condition de sécheresse extrême, et pour une graminée pérenne, la précocité pourrait conférer plus d'avantages que la tardivité. Une analyse des données déjà recueillies nous aidera à trancher sur ce problème.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aronson J., Floret C., Le Floc'H E., Ovalle C. & Pontanier R. (1993). *Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands*. II. Case studies in Southern Tunisia, Central Chile and Northern Cameroon. *Restoration Ecology* 1:168-186
- Ferchichi A. & Neffati M. (1992). *Essai de resemis d'espèces pastorales en Tunisie centrale*. *Ecologia Mediterranea*, 18: 25-30.
- Knapp E. E. & Rice K. J. (1994). *Starting from seed. Genetic issues using native grasses for restoration*. *Restoration & Management Notes*, 12(1): 40-45.
- Knapp E. E. & Rice K. J. (1996). *Genetic structure and gene flow in Elymus glaucus (blue wildrye): implications for native grassland restoration*. *Restoration Ecology* 4(1): 1-10.
- Le Floc'H E. (1993). *Etablissement de nouvelles formations steppiques en Tunisie grâce à l'introduction d'espèces spontanées et exotiques*. Rapport final CCE. CEFÉ-CNRS/ ORSTOM (Montpellier, France) - IRA (Médénine, Tunisie).
- Le Floc'H E., Neffati M., Chaïeb M. & Pontanier R. (1994). *Un essai de réhabilitation en zone aride. Le cas de Menzel Habib (Tunisie)*. In: *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait? Actes du congrès international sur la restauration et la réhabilitation des terres dégradées des zones arides et semi-arides*, Jerba.
- Le Houérou H. N. (1991). *Rangeland management in Northern Africa and the Near East: Evolution, trends and development outlook*. In: *Proceedings of the fourth international Rangelands Congress*, Montpellier, France.
- Neffati M. (1994). *Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces végétales nord-africaines. Implications pour l'amélioration pastorale*. Thèse soumise pour l'obtention du grade de Docteur (Ph. D.) en Sciences Biologiques Appliquées Section Agronomie, Université de Gent, 264 p.

- Reguig M. (1996). *Effet de la fertilisation azotée sur la vigueur végétative et reproductive de Stipa lagascae R. & Sch.* Rapport de stage, IRESA Mezez El Bab - IRA Médenine, 13p.
- Sarniquet J., Bruzon V. & Makhlouf E. (1995). *Une stratégie pour le développement des parcours en zones arides et semi-arides.* Document de la Banque Mondiale Maghreb et Iran. Rapport n° 14927 MNA. Annexe III, Rapport Technique Tunisie.
- Waechter P. (1982). *Etudes des relations entre les animaux domestiques et la végétation dans les steppes du sud de la Tunisie. Implications pastorales.* Thèse Doct., Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 293p.

REPONSE HYDRIQUE VIS-A-VIS DE LA SECHERESSE D'*ACACIA TORTILIS* SSP. *RADDIANA* EN MILIEU ARIDE DE TUNISIE

L.ABDALLAH, N.AKRIMI, M.CHAIEB,
M.S.ZAAFOURI.

RESUME

L'étude porte sur le comportement hydrique de *Acacia tortilis* ssp. *raddiana* dans son groupement d'origine, au sud tunisien. Les mesures relatives aux réserves hydriques et au potentiel hydrique des rameaux (Ψ), attestent d'une grande résistance de l'espèce au stress hydrique, durant une année caractérisée par un déficit pluviométrique accentué (1994-1995).

Ainsi, en dépit de l'absence des précipitations, le potentiel de base (mesuré tôt le matin) de l'espèce ou Ψ_b est durant tout le cycle d'observation compris entre -1,45 et -1,75 MPa. Le potentiel minimum (mesuré au midi solaire) ou Ψ_m est dans ces conditions compris entre -1,9 et -2,4 MPa. Ces valeurs relativement élevées pour une xérophite ligneuse, attestent de sa résistance à la sécheresse. Les faibles valeurs de la différence de potentiel ($\Delta\Psi = \Psi_b - \Psi_m$), comprises entre 0,45 et 0,65 MPa, montrent que l'espèce échappe au stress hydrique pour la réduction de sa transpiration à un moment de la journée où la demande évaporative est maximale.

Mots clés : Zone aride, *Acacia tortilis*, réserves hydriques du sol, potentiel hydrique, stress hydrique.

SUMMARY

The study concern the behaviour of *A. tortilis* ssp *raddiana* in his natural vegetal formation in the south of Tunisia. The observations related to the soil water and water potential of branch (Ψ) attest a big species resistance to the water stress throughout one year characterised by a rainfall deficit (1994-1995).

So, although this rainfall deficit, the predawn potential (measured at the end of night) of species (Ψ_b) show between 1,45 and 1,75 MPa, during the observation period. The midday potential (measured between 12 and 14 h) of species vary in these conditions from 1,9 to 2,4 MPa.

These values are relatively high for a wood xerophyte, attesting the stress resistance of species. The low values of potential difference ($\Delta\Psi = \Psi_b - \Psi_m$), between 0,45 and 0,65 MPa, show that species escape to the water stress by transpiration reduction at the maximum evaporative demand in the day.

Key words : Arid zones, *Acacia tortilis*, soil water storage, water potential, water stress.

INTRODUCTION

Au sein du cortège floristique sud tunisien, *Acacia tortilis* ou Gommier est l'une des espèces considérées comme étant fortement raréfiées. Elle donne exclusivement la strate arborée à caractère forestier dans la région du Bled Talah (zone de Bou Hedma).

L'aire de répartition géographique de cette espèce (Le Houerou, 1995) témoigne de sa souplesse structurale et fonctionnelle, lui conférant une adaptation vis-à-vis des contraintes hydriques et édaphiques. Toutefois, en dépit de son intérêt biologique et écologique, cette espèce reste jusqu'à présent peu connue. Les études relatives au Gommier de part et d'autre du Sahara, sont plutôt orientées vers les aspects systématiques. La connaissance de ses seuils de tolérance au stress hydrique nécessite la connaissance de ses aptitudes écophysiologicals. L'état hydrique de la plante ainsi que ses variations journalières, saisonnières et annuelles, sont souvent observées pour appréhender les mécanismes mis en jeu dans le comportement des espèces vis-à-vis des facteurs climatiques et édaphiques. De nombreux travaux ayant déjà porté sur ce paramètre, le considèrent comme indicateur de la résistance à la sécheresse de la plante (Roy, 1980 ; Aussenac et Valette, 1982 ; Aussenac et Granier, 1978 ; Henchi, 1987 et Chaïeb, 1993).

Notre travail étant orienté dans ce sens, aurait pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance des caractéristiques écophysiologicals du Gommier, en particulier dans son milieu naturel. Ceci permettra d'aider à orienter les actions de reboisement par le biais de cette espèce.

Matériel et méthodes

1- Localisation géographique du site d'observation

Le site expérimental étant situé à la localité de Haddej, est localisée en Tunisie centrale, à 107 km au Nord-Ouest de Gabès, à 60 km à l'Est de Gafsa, à 45 km au Nord-Ouest de la Skhira et à 120 km au Sud-Ouest de Sfax. Les coordonnées géographiques approximatives sont : 34°30' Longitude Est et 9°38' Latitude Nord.

2- Caractéristiques édaphiques

Le milieu édaphique du site d'étude se caractérise par la prédominance nette du sable grossier et du sable fin avec des taux respectifs de 30 et 44 %. Le limon et l'argile ont en revanche des taux voisins de 9,5% pour chacun. Il en résulte un sol très filtrant peu favorable à la croissance des espèces végétales. Le profil pédologique réalisé sur le site d'observation témoigne de la profondeur du sol (Abdallah, 1996), ce qui favoriserait la pénétration racinaire.

3- Caractéristiques floristiques

Les caractéristiques floristiques de cette zone sont ainsi décrites par plusieurs auteurs, parmi les quels on cite Monod (1974), Le Houerou (1959 et 1960), le Floc'h (1983), El Hamrouni (1992), Chaïeb (1993) et Karem et al (1993).

Les principales espèces inventoriées sur le site d'observation sont : *Pergularia toentosa*, *Arthrophytum scoparium*, *Arthrophytum schmittianum*, *Helianthemum lippi* ssp. *sessiliflorum*, *Helianthemum kahiricum*, *Rhanterium suaveolens*, *Cenchrus ciliaris*, *Astragalus armatus*, *Pituranthos tortuosus* et *Farsetia aegyptiaca*.

4- Protocole expérimental

L'espèce d'origine phytogéographique paléotropicale se caractérise en principe par un type biochimique de photosynthèse en C_4 . Cette hypothèse implique l'intensification des observations, notamment durant la saison estivale. Les observations portent sur l'évaluation spatio-temporelle de la réserve hydrique du sol ainsi que sur le potentiel hydrique de la plante. A chaque observation, les deux paramètres sont mesurés simultanément, tel qu'on peut voir sur le tableau 1, sur lequel nous rapportons le calendrier mensuel de l'ensemble des mesures.

Tableau 1 : Calendrier mensuel des observations relatives à l'humidité du sol et au potentiel de la plante

Mois	1994			1995								
N.d'observations	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	O
1 Observation	*	*	*	*	*							
2 Observations						*	*	*				
3 observations									*	*	*	*

4.1- Evaluation de l'état hydrique du sol

L'intérêt du potentiel hydrique comme indicateur de l'état de l'eau dans le sol est indiscutable. Le besoin de déterminer ce paramètre se manifeste fréquemment dans les études écologiques et hydrologiques. Hillel (1974), signale que, malgré les nombreuses méthodes qui existent pour la détermination du potentiel ou de l'humidité du sol, aucune d'entre elles, ne pourrait être considérée comme un méthode standardisée. Pour notre étude, nous avons utilisé la méthode neutronique, réputée comme étant parmi les plus précises et la moins destructive. L'outil employé est la sonde à neutrons type Solo 25 (CEA Cadarache, France).

4.2- Mesures du potentiel hydrique (Ψ_H)

4.2.1- Méthode utilisée

L'outil retenu pour notre étude, est la chambre à pression (Scholander et al, 1965) ; appareil portable, pratique pour l'utilisation sur terrain et largement utilisé dans les études écophysiologicals des végétaux.

Les mesures ont été faites sur des rameaux de l'année facilement repérables, ne posant normalement pas de difficultés d'observations (contrairement aux feuilles, en raison de leur petite taille) en reflétant le plus, l'état hydrique de la plante.

4.2.2- Paramètres observés

- *Potentiel maximum ou potentiel de base (Ψ_B)*

Avant le lever du soleil, la transpiration de la plante est presque nulle. Il se produit normalement un équilibre hydrique entre l'eau de la plante et celle du sol. Le Ψ_H mesuré à cette période de la journée, est donc à son maximum. Il est couramment désigné par potentiel hydrique maximum ou de base (Ψ_B).

- *Potentiel minimum (Ψ_m)*

Dès le lever du soleil, le processus de transpiration se déclenche et le Ψ_H décroît jusqu'à ce qu'il atteigne son minimum au milieu de la journée. Pour certaines espèces sud tunisiennes, la valeur minimale de ce paramètre a souvent été observée entre 12 H et 14 H sur *Plantago albicans* (Henchi, 1987 ; Chaïeb, 1989), sur les graminées pérennes (Chaïeb, 1993) sur les arbustes fourragers (Zaafouri, 1993) sur des espèces herbacées ligneuses (Ourcival, 1992) et sur *Cerantonia siliqua* (Rejeb, 1992). Pour notre étude, l'horaire d'observation du potentiel minimum a été extrapolé à partir de la cinétique journalière (mesurée entre 6H et 20H), et correspondant aussi à la période comprise entre 12H et 14H.

Résultats:

1-Evolution des réserves hydriques du sol

1.1- Evolution de l'humidité volumique (HV)

L'observation à différentes dates de l'humidité volumique du sol sur une profondeur comprise entre 10 et 190 cm est rapportée sur la figure 1. Les valeurs indiquées représentent la moyenne de 8 tubes de sonde. Cette démarche est adoptée car d'après la littérature, les racines d'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana* sont assez longues en surface. De ce fait les tubes sont placés au milieu de la zone d'étude soit entre les 5 pieds. Il ressort de ces mesures que le prélèvement d'eau est maximum en surface soit à une profondeur de 30 cm. En effet, l'humidité volumique à cette profondeur est à son minimum ($\approx 2\%$) ; elle augmente en profondeur pour atteindre son maximum au niveau de l'horizon 60-80 cm ($\approx 7,8\%$) ainsi qu'au niveau des horizons 80-100 et 100-110 cm avec une légère différence. Pour le reste des horizons HV décroît pour se stabiliser ainsi à 6%.

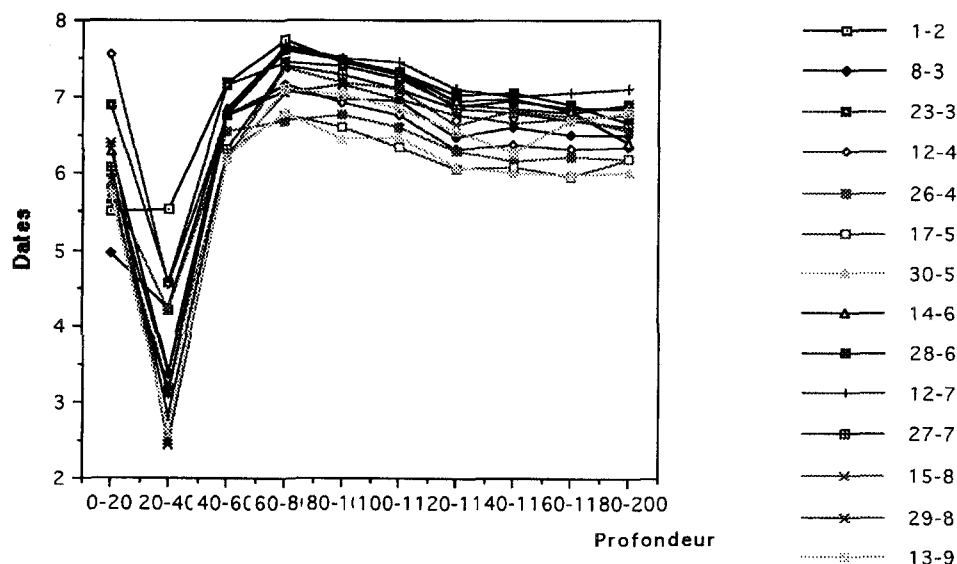


Figure 1 : Evolution de l'humidité volumique moyenne durant la période d'étude

1.2- Evolution du stock et des réserves hydriques disponibles dans le sol

Les valeurs des réserves en eau disponible au pF 4,2 dans la tranche du sol comprise entre 10 et 190 cm sont nulles (au niveau de tous les horizons) comme le montre la figure 2. Par contre le niveau du stock hydrique total est relativement élevé entre 0 et 100 cm. Ceci signifie pour une espèce accomplissant normalement sa biologie, que le pF 4,2 comme limite d'absorption racinaire est très arbitraire pour les espèces spontanées, notamment les xérophiles.

2- Potentiel hydrique de l'espèce (Ψ_H)

2.1- Cinétique journalière et saisonnière

- Cinétique journalière

L'examen des résultats obtenus (figure 3), montre une variation du Ψ_H atteignant son maximum soit -1,4 MPa, avant le lever du soleil, lorsque normalement, s'établit un équilibre entre l'arbre et le sol (Ritchie and Hinckley, 1975). Le Ψ_H amorce ensuite une descente tout le long de la matinée (estimée à environ 0,1 MPa) soit entre 4H et 6H pour s'accroître à nouveau (-2MPa) entre 8H et 10H du matin. Cette chute du Ψ_H se poursuit jusqu'à 13 H, horaire coïncidant avec la valeur du Ψ_H la plus faible soit -2,4 MPa. A partir de 14H, une augmentation du Ψ_H se produit à nouveau et se poursuit jusqu'à la fin de la journée, soit à 19H30 minutes. On observe aussi un Ψ_H de -1,44 MPa, valeur assez proche de Ψ_H maximum observé tôt le matin. On ignore si au cours de la nuit, la remontée du Ψ_H se poursuivra pour se stabiliser aux valeurs maximales du potentiel de base. Il en résulte donc une courbe en cloche, classique pour les espèces des zones arides.

- Cinétique saisonnière

La cinétique du Ψ_H a également été observée durant les 4 saisons, afin de suivre un rythme d'évolution annuelle (figure 3). L'examen des résultats montre que la chute matinale du Ψ_H est plus rapide en été et au printemps qu'en hiver et ce en raison de la transpiration normalement accentuée au cours des deux premières saisons. Il se produit probablement un gradient de Ψ_H entre les feuilles et les racines.

D'après la littérature, une demande évaporative intense provoque un déséquilibre du flux hydrique au niveau du système racines-tiges-feuilles. L'extraction racinaire n'arrive plus à couvrir la demande évaporative du milieu

de la journée et se traduit ainsi par une chute du potentiel hydrique. Le Ψ_H mesuré en automne et en hiver étant respectivement de -1,2 MPa et -1,27 MPa à 6H du matin, amorce une faible descente et passe respectivement à -1,51 MPa et -1,46 MPa. Au printemps et en été, le Ψ_H mesuré tôt le matin est de l'ordre de -1,4 MPa. Au cours de cette période, le Ψ_H décline rapidement et passe à -1,89 MPa au printemps et à -2MPa en été (à 8H). Cela peut s'expliquer par des éclaircissements intenses qui débutent dès le bon matin pendant les périodes, estivale et printanière, induisant une transpiration intense. Celle-ci, se répercute sur le Ψ_H par une chute durant les premières heures de la journée. Quoiqu'il en soit, le Ψ_H n'atteint son minimum que pendant la période comprise entre 12H et 14H, sauf au printemps où on enregistre 2 pics, l'un entre 13H et 14H (-2,02 MPa), l'autre à 16H (-2,17MPa). L'après midi et inversement à ce qui se produit le matin, le Ψ_H augmente rapidement pendant l'hiver et l'automne, par comparaison à l'été et le printemps. En effet, lors de la journée automnale le Ψ_H passe de -2,02 MPa depuis 13H jusqu'à 18H (-2,03 MPa). La remontée à nouveau n'a lieu qu'à partir de 19H30' (-1,59 MPa) de même que pour la période estivale. Cela peut à notre avis s'expliquer par la variation des conditions climatiques. Les saisons du printemps et de l'été sont toutes deux caractérisées par des températures et des rayonnements globaux élevés au cours de la journée. Ceci se justifie par les faibles valeurs du Ψ_H pendant cette période. En revanche, cette caractéristique, semble ne pas être la même pendant les deux autres saisons, telle qu'on peut voir sur la figure 3.

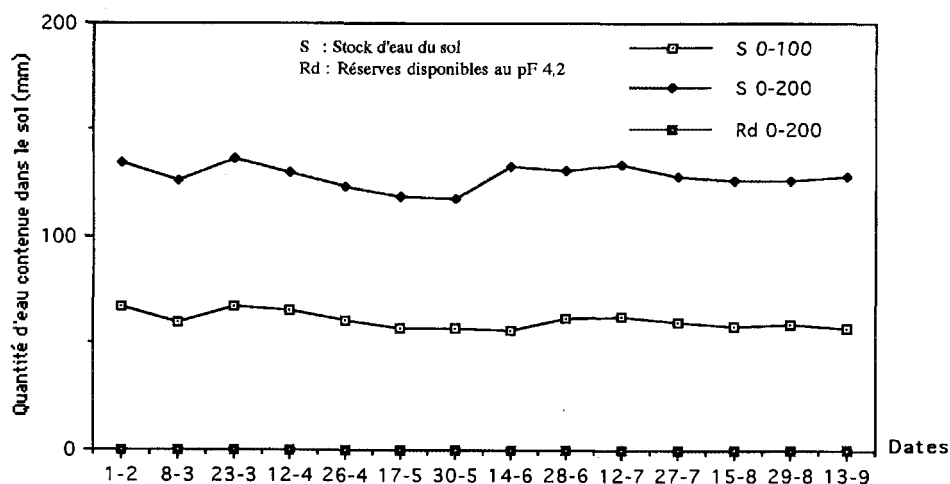


Figure 2 : Evolution des réserves hydriques du sol (mm) durant le cycle de mesures

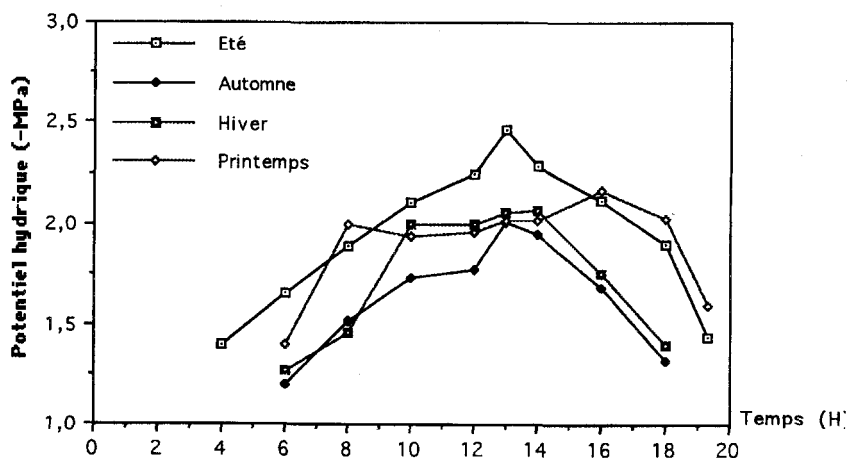


Figure 3 : Cinétique saisonnière et journalière du Potentiel hydrique () observé chez *A. tortilis ssp raddiana*

2.2- Variation annuelle du potentiel maximum ou potentiel de base (Ψ_B)

Le potentiel de base communément appelé potentiel maximum ou potentiel d'équilibre codé dans notre texte Ψ_B , est mesuré lorsque s'établit un équilibre probable au niveau du système sol-plante, soit avant le lever du soleil (Hillel, 1974). Dès le lever du soleil, l'équilibre sol-plante a tendance à se rompre graduellement et le Ψ_H de la plante décroît continuellement.

L'évolution du Ψ_B au cours d'une année, a rappelons le, été suivie à raison de deux mesures par mois. Les résultats obtenus (figure 4), montrent des valeurs variant peu tout en étant faibles, les valeurs du Ψ_B sont, comprises entre -1,43 MPa et -1,75 MPa, avec un minimum observé au mois de février (-1,75 MPa). Ainsi, le premier facteur que l'on serait tenté de mettre en cause compte tenu des faibles températures, sont bien sûr les faibles réserves hydriques du sol. A partir de la fin du mois de Juillet, Ψ_B amorce une augmentation progressive qui se poursuit tout au long de la période automnale, caractérisée par des précipitations relativement importantes.

2.3- Variation annuelle du potentiel minimum (Ψ_{\min})

Le potentiel minimum codé dans notre texte Ψ_{\min} est mesuré pendant la période qui correspond en principe au maximum de la demande évaporative de l'atmosphère et au maximum des échanges gazeux entre la plante et son environnement.

(Ritchie and Hinckley, 1975 ; Aussenac et Valette, 1982 ; Aussenac et Granier, 1978). Le Ψ_H atteint son minimum pendant la période comprise entre 12H et 14H. Les données rapportées sur la courbe de la figure 4, témoignent d'une allure presque proportionnelle à celle du potentiel maximum. Cette constatation est nette surtout en période de forte activité biologique (printemps et été).

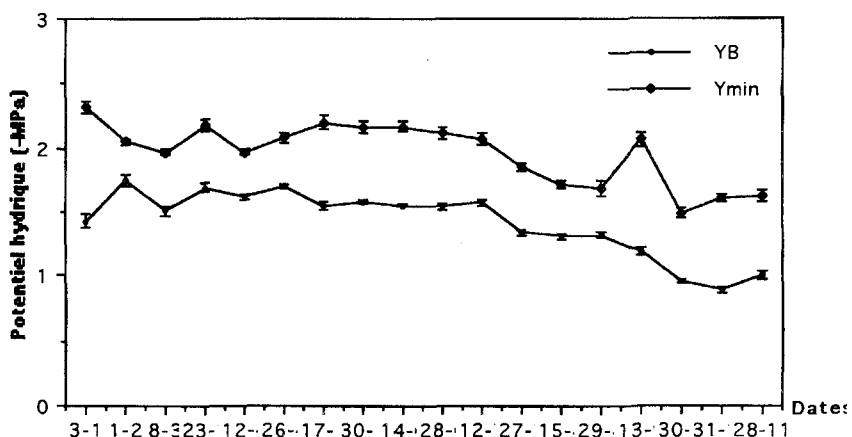


Figure 4 : Evolution du Potentiel hydrique chez *A. tortilis* durant la période d'étude

Les valeurs du Ψ_{\min} ainsi mesurées demeurent constantes (-2MPa) dès le début de la période de mesure et jusqu'à la fin du mois de Juillet. L'augmentation observée pendant les mois de Mars (-1,97 MPa) et Avril (-1,97 MPa), résulte des faibles précipitations, enregistrées sur le site expérimental.

La stabilité marquant une période caractérisée par des faibles et des moyennes températures, peut à priori s'expliquer par une insuffisance d'eau du sol disponible pour la plante.

Dès la 3ème décennie du mois de Juillet (période qui correspond au démarrage de la croissance végétative), les valeurs du Ψ_{\min} augmentent progressivement (-1,8 MPa) et déclinent ensuite vers la mi-septembre (-2MPa).

Discussion :

Il est communément admis dans la littérature que le potentiel du sol s'équilibre normalement avec le potentiel de base de la plante, soit $\Psi_s \equiv \Psi_B$ (Hallaire, 1963 ; Sucoff, 1972 ; Hillel, 1974 ; Aussenac et Granier, 1978 ; Aussenac et al, 1984). Cette égalité pourrait être acquise dans des conditions contrôlées du système racinaire (pots, cases lysimétriques, rhizotron, etc ...). En conditions non contrôlées, cet équilibre devient précaire (Sobrado, 1986 ; Fournier, 1993). En milieu aride, le phénomène devient plus complexe en raison de l'hétérogénéité du milieu édaphique d'une part et de la forte dispersion du système racinaire des xérophytes d'autre part. D'ailleurs, sur des espèces herbacées de la zone aride tunisienne, Chaïeb (1993) n'a presque pas observé d'équilibre entre les deux composantes (Ψ_s et Ψ_B) du continuum.

Sous ce même bioclimat, et sur des espèces ligneuses dont le système racinaire peut atteindre des grandes profondeurs; l'équilibre hydrique entre la plante et le sol est quasiment absent. Cette absence serait d'autant plus accentuée que la journée est longue. La durée en temps pour la récupération de l'arbre reste ainsi relativement brève.

Ces hypothèses se justifient amplement dans nos observations, notamment durant les saisons du printemps, été et automne. C'est ainsi qu'à partir des courbes de $\Psi_s = f(Hv)$ nous déduisons des potentiels du sol couramment inférieurs à -4 MPa.

Ceci amène à confirmer rappelons-le que la référence au point de flétrissement permanent (pF4,2) correspondant à un potentiel matriciel du sol voisin de -1,6 MPa pour le calcul de la réserve hydrique du sol est arbitraire en zones arides. Pour le cas tunisien, ceci a été à maintes reprises signalé par différents auteurs (Floret et Pontanier, 1982 ; Ourcival, 1992 ; Chaïeb, 1993 et Zâafouri, 1993).

La variabilité de l'humidité volumique observée entre les différents tubes, témoigne de l'hétérogénéité du volume exploité par les racines à proximité de chaque tube.

Considérant l'emplacement de ces tubes par rapport aux individus observés, on peut déduire une importante croissance racinaire latérale de l'espèce. Cette caractéristique signifie qu'*A. tortilis* a tendance à profiter même des faibles précipitations, humectant uniquement la surface du sol. Ces faibles précipitations sont souvent fréquentes sous bioclimat aride en général, tel que le soulignent Button and Ben Asher (1983).

Le potentiel hydrique du sol mesuré durant toute la période expérimentale se caractérise par les faibles valeurs, se maintenant durant une longue période, voisines de -4 MPa.

En dépit de cette sécheresse climatique et édaphique, le potentiel hydrique de la plante mesuré avant le lever du soleil et au midi solaire n'accuse pas des valeurs très faibles et fluctue entre -1,7MPa et -1,3MPa pour le potentiel de base et entre -2,3 MPa et -1,8 MPa pour le potentiel minimum. Ces valeurs relativement élevées, laissent supposer qu'*A. tortilis* a tendance à résister au stress hydrique pour régulation de son transfert hydrique. Cette hypothèse peut être vérifiée par des observations des échanges gazeux en conditions contrôlées.

En outre, le maintien du potentiel de base voisin de -1,5 MPa à un moment où le potentiel du sol est constamment voisin de -4 MPa, signifie qu'*A. tortilis* est apte à extraire l'eau du sol au delà du pF 4,2, limite couramment admise pour les espèces végétales cultivées. La détermination de la valeur réelle du point de flétrissement critique pour ces espèces xérophiles serait à notre avis nécessaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdallah L. (1996) : Etude du comportement écophysologique « *in situ* » d'*Acacia tortilis* ssp. *raddiana*. Diplôme d'Etudes Approfondies, Fac. Sc. de Tunis, 96 p.
- Aussenac G; et Garnier A. (1978) : Quelques résultats de cinétique journalière du potentiel de sève chez les arbres forestiers. *Ann. Sci. Forest.* 35 (1), pp : 19-32.
- Aussenac G. et Valette J.C. (1982) : Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Will, et de divers pins dans le mont ventoux. *Ann. Sci. Forest.* 39 (1), 41-62.
- Aussenac G. ; Garnier A. et Ibrahim M. (1984) : Influence du dessèchement du sol sur le fonctionnement hydrique et la croissance du douglas. *Acta oecologica, œcol, plant.* Vol 5 (19) n°3 pp : 241-253.
- Button B.J. and Ben Asher J. (1983) : Intensity - duration relation ships of desert precipitation of Avdat. *Israel J. Arid. Envir.*, 6 : 1-12.
- Chaïeb M. (1989) : Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone aride tunisienne. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 292 p.
- Chaïeb M. (1993) : Réponse écophysologique de trois graminées pérennes soumises à des conditions écologiques contrastées en milieu aride de Tunisie. Etude en conditions naturelles, semi-contrôlées et contrôlées). Thèse de Doctorat ès-Sciences. Université de Sfax pour le Sud, Faculté des Sciences de Sfax, 283 p.
- El Hamrouni A. (1992) : Végétation forestière et préforestière de la Tunisie, typologie et éléments pour la gestion. Thèse de Doctorat ès-Sciences. Faculté des Sciences et Techniques de Saint-jérôme, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III.
- Floret C. et Pontanier R. (1982) : L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement. Edition de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, 544 p.
- Fournier C. (1993) : Fonctionnement hydrique de six espèces ligneuses coexistant dans une savane sahélienne (région du Ferlo, Nord-Sénégal). Thèse présentée à l'Université de Paris-sud - Centre d'Orsay.
- Hallaire M. (1963) : Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. *Ann. Agro.* 14 (4), pp : 393-428.
- Henchi B. (1987) : Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans* L. Thèse Doct. ès-Sciences, Université de Tunis, Tunisie, 360 p.
- Hillel D. (1974) : L'eau et le sol, principes et processus physiques. Department of Soil Science, the herbew University of Jerusalem. Retroval Israël, 288 p.
- Karem A. ; Ksentini M. ; Schoenenberger A. ; Waibel T. (1993) : Contribution à la régénération de la végétation dans les parcs nationaux en Tunisie aride. Direction Générale des Forêts, Institut National de la Recherche Forestière.
- Le Floc'h E. (1983) : Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. programme « Flore et Végétation Tunisienne ». Inst. Régions Arides Médenine, Tunisie. Notice : 25 p.
- Le Houerou H.N. (1959) : Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale (Seconde partie : la flore). Université d'Alger. Institut des Recherches Sahariennes, 277 p.
- Le Houerou H.N. (1969) : La végétation de la Tunisie steppique, avec référence en Maroc, à l'Algérie et la Libye. *Ann. INRA.* Tunis, vol 42Fasc. 5, 622 p.
- Le Houerou H.N. (1995) : Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. sécheresse ; 6 : 167-182.

- Monod T. (1974) : Notes sur quelques Acacia d'Afrique et du Proche-Orient. Bulletin de l'Institut d'Afrique Noire (IRAN). Tome XXXVI. Juillet 1974, n°3.
- Rejeb N. (1992) : Etudes des mécanismes de résistances à la sécheresse du Caroubier (*C. siliqua*) en Tunisie. Thèse ès-Sciences, Fac. Sciences de Tunis, 199 p.
- Ritchie A.G. & Hinckley T. (1975) : The pressure chamber as an instrument for Ecological Research. Advances in Ecological Research (A. Macfadyen, Ed). Vol 9. 165-254. Academic press. London.
- Roy J. (1980) : Comportement photosynthétique et hydrique de la feuille chez *Dactylis glomerata* L. Adaptation phénotypique et génotypique à la sécheresse. Thèse présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc. pp : 1-72.
- Suuff E. (1972) : Water potential in red pine, soil moisture evapotranspiration, crown position. Ecology, 53 (4), 681 - 246.
- Zâafouri M.S. (1993) : Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne. Thèse présentée l'Université de Droit, d'Economie et des Sciences Aix-Marseille II, 200 p.

EFFETS DU PRECONDITIONNEMENT A LA SECHERESSE SUR LA CAPACITE D'IMPLANTATION D'*Acacia cyanophylla* Lindl. EN ZONES ARIDES

Ali ALBOUCHI* et Mohamed Hédi EL AOUNI**

* Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, BP 2, Ariana 2080, Tunisie.

** Faculté des Sciences de Bizerte, Jarzouna 7021, Tunisie.

RESUME

Deux lots de plants d'*Acacia cyanophylla* Lindl. ont été élevés dans des pots en plastique, sous serre vitrée et aérée, puis soumis à l'âge de 8 mois à 2 doses contrastées d'irrigation: une dose optimale (D), restituant la totalité de l'eau évapotranspirée (témoin), et une dose D/6 (stressé) et ce pendant une durée de 13 mois entrecoupée de 4 cycles de dessèchement par arrêt de l'arrosage. Les effets du préconditionnement à la dose D/6 ont été étudiés sur les plans morphologique, écophysiological et métabolique.

Les résultats obtenus semblent indiquer que le préconditionnement au manque d'eau pendant une durée de 3 mois n'a pas été suffisant pour induire chez *A. cyanophylla* des mécanismes d'endurcissement à la sécheresse. Les plants stressés passant d'une irrigation optimale (avant l'application du traitement) à une irrigation déficiente ont subi un effet de choc qui s'est traduit, au cours de cette période, par une faible croissance et une fermeture stomatique précoce (à un potentiel hydrique minimum $\Psi_{\min} = -1.90$ MPa).

A partir de 3 mois de préconditionnement, les plants stressés ont montré des signes d'un endurcissement croissant à la sécheresse dont les principales manifestations ont été : une reprise significative de la croissance avec une allocation préférentielle de biomasse vers les racines, une nette amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau suite à une réduction de la surface transpirante et de la conductance stomatique aux déficits hydriques modérés ($\Psi_{\min} > -2.20$ MPa), une tolérance accrue aux stress hydriques sévères exprimée par une conductance stomatique et une turgescence positive relativement élevées à des niveaux très bas de Ψ_{\min} (-3.0 à -4.5 MPa) et des potentiels osmotiques décroissants au cours du temps en raison d'une accumulation croissante de sucres solubles, de proline, de potassium et de magnésium.

Mots clés : *Acacia cyanophylla* / préconditionnement / sécheresse / endurcissement / durée

SUMMARY

Two plots of *Acacia cyanophylla* Lindl. grown in plastic pots under aerated greenhouse conditions, were submitted at the age of 8 months to 2 contrasting irrigation doses: An optimal dose (D), restoring the entire water quantity lost by evaporation (control), and a D/6 dose (stress), during a period of 13 months intermitted with 4 cycles of dehydration by withholding irrigation. Preconditioning effects to D/6 were studied at the level of the morphological, ecophysiological and metabolic responses.

Obtained results seem to indicate that preconditioning to lack of water during a period of 3 months was not sufficient to induce *A. cyanophylla* hardening mechanisms to drought. Stressed plants changing from an optimal irrigation (before treatment application) to a deficient regime received a shock effect which was translated during that period by a weak growth and an early stomatal closure (at a minimum water potential $\Psi_{\min} = -1.90$ MPa).

After 3 months of preconditioning, the stressed plants showed increasing hardening signs to drought which got manifested essentially by: A significant regrowth with a preferential allocation towards root biomass, an obvious improvement of water utilization efficiency following a reduction of the transpiring surface area and that of the stomatal conductance under moderated water deficits ($\Psi_{\min} > -2.20$ MPa), an increased tolerance to severe water stress expressed by relatively high stomatal conductance and a positive turgor at very low levels of Ψ_{\min} (-3.0 to -4.5 MPa) as well as decreasing osmotic potentials in time due to increased build-up of soluble sugars, proline, potassium and magnesium.

Key words : *Acacia cyanophylla* / preconditioning / drought / hardening / duration

INTRODUCTION

Le manque d'eau constitue le principal facteur limitant de la production forestière dans de larges zones climatiques (Kramer, 1986). Il provoque, selon son intensité et sa durée, un ralentissement puis un arrêt plus ou moins rapide des processus de croissance et a pour conséquence une réduction plus ou moins forte de la biomasse totale de la plante par comparaison avec le témoin bien alimenté en eau (Arnott *et al*, 1993 ; Pallardy et Rhoads, 1993 ; Stewart et Bernier 1995 ; Timbal et Lefebvre, 1995).

La résistance d'une plante à la sécheresse est définie par son aptitude à survivre à des périodes sèches sans ou avec un léger dommage (Larcher, 1983). Cette résistance se traduit, chez les plantes adaptées, par le développement de mécanismes en vue de contrecarrer la carence en eau et garantir une meilleure efficacité d'utilisation de la quantité disponible.

Acacia cyanophylla Lindl. est une Mimosaceae arbustive originaire du sud-ouest de l'Australie, à vaste amplitude écologique et à usages multiples. Elle a été introduite en Tunisie depuis 1904 pour la fixation des dunes littorales de la région de Bizerte (Marion et Poupon, 1974). Son introduction a été généralisée par la suite à l'ensemble du pays. Grâce à ses utilisations multiples (fertilisation des sols, fixation des dunes littorales et continentales, consolidation des ouvrages de conservation des eaux et du sol, brise-vent et plantations pastorales) et à sa capacité de pousser sur différents types de sols, *A. cyanophylla* compte aujourd'hui parmi les essences forestières les plus employées dans les reboisements des zones arides et semi-arides. Cependant, son implantation dans les régions arides n'est pas toujours réussie du fait, vraisemblablement, du choc de transplantation résultant du changement brutal entre les conditions hydriques de pépinière (alimentation optimale) et celles des sites de plantation caractérisés souvent par le manque d'eau.

La capacité des jeunes plants à surmonter ce choc de transplantation dépend largement de leur potentiel génétique de résistance à la sécheresse et de leur conditions antérieures d'élevage. Ainsi, le préconditionnement au manque d'eau a induit chez diverses essences forestières un durcissement à la sécheresse (drought hardening) qui s'est traduit par le maintien d'un niveau de turgescence, de photosynthèse et de transpiration permettant la poursuite des processus de croissance à des potentiels hydriques très bas. Ceci a été attribué à un ajustement osmotique (Zwiazek et Blake, 1989 ; Gebra *et al*, 1994 ; Kimani *et al*, 1994 ; Tschaplinski et Tuskan, 1994) ou à un ajustement osmotique doublé d'un accroissement de l'élasticité des membranes cellulaires (Blake *et al*, 1991 ; Fan *et al*, 1994). Par ailleurs, de nombreux travaux ont montré qu'un préconditionnement à la sécheresse appliqué au niveau de la pépinière a permis d'accroître la survie et la croissance de certaines essences forestières après plantation (Abod et Sandi, 1983 ; Aussenac et El Nour, 1986 ; Kaushal et Aussenac, 1990 ; Van Den Driesshe, 1992).

Les effets du préconditionnement à la sécheresse sont multiples et s'expriment mieux en cas de sécheresse prononcée. Ils sont tributaires, particulièrement, de l'intensité du stress appliqué et de la durée du préconditionnement. Le présent travail a porté sur l'incidence de ces deux facteurs sur la capacité d'accommodation d'*A. cyanophylla* à la sécheresse. Des mesures de biomasse, de potentiels hydrique total et osmotique, de résistance stomatique et des dosages de certains composés osmotiques ont été effectués sur deux lots de plants (témoins et stressés) pendant une durée de 13 mois afin d'évaluer les effets de la durée d'un préconditionnement à une alimentation hydrique déficiente.

Matériel et méthodes

Protocole expérimental

Deux lots de plants d'*A. cyanophylla* élevés dans des pots en plastique sous serre vitrée et aérée ont été soumis à l'âge de huit mois à deux doses contrastées d'irrigation : une dose optimale D (témoin), restituant la totalité de l'eau évapotranspirée, et une dose D/6 (stressé). La durée des traitements a été de 13 mois.

L'irrigation a été assurée par un système automatique au goutte à goutte qui se déclenche lorsqu'une hauteur d'eau réglable est évaporée du bac lié à ce système. Cette hauteur est réglée en fonction de l'évapotranspiration des plants témoins (Albouchi *et al*, 1997).

Afin de permettre aux phénomènes d'accommodation de s'exprimer, des plants des deux lots ont été soumis à des conditions extrêmes de sécheresse par l'application de cycles de dessèchement en arrêtant l'irrigation au bout d'un, trois, cinq et treize mois de traitements hydriques. Les effets du préconditionnement à la dose D/6 ont été suivis au bout de chaque durée à l'aide de paramètres morphologiques, écophysologiques et métaboliques.

Paramètres mesurés

La biomasse totale et compartimentale (racines, tiges et phylloides) a été suivie au cours du temps sur trois plants/traitement/durée par détermination de la matière sèche après étuvage à 80°C jusqu'à poids constant.

L'évolution de la surface transpirante au cours de la période de traitement a été suivie sur six plants de chaque lot à partir de mesures *in situ* des dimensions des phyllodes de chaque plant (longueur L et largeur maximale l). Ces dimensions ont été traduites en surface à l'aide d'une corrélation préétablie entre L, l, (L x l) et les surfaces de 500 phyllodes de diverses tailles mesurées par un planimètre de type LI - COR (LI -3050 A).

Des mesures de potentiels hydrique total (Ψ_{min}) et osmotique (Ψ_{π}) et de la résistance stomatique ont été échelonnées au cours de chaque cycle de dessèchement. Elles ont été réalisées en milieu de journée, à 13h, sur trois plants/traitement.

Ψ_{min} et Ψ_{π} ont été déterminés par la méthode psychrométrique (Albouchi, 1985) en utilisant un microvoltmètre à point de rosée (type HR -33T, Wescor Inc.) et des hygromètres à échantillon (type C-52, Wescor Inc.). Le potentiel de turgescence a été déterminé par différence : $\Psi_p = \Psi_{min} - \Psi_{\pi}$.

La résistance stomatique (r_s) a été déterminée à l'aide d'un poromètre à diffusion (type MK II, DELTA-T DEVICES) sur les deux faces de phyllodes des plants ayant servi pour les mesures de Ψ_{min} et Ψ_{π} . La résistance stomatique équivalente d'un phyllode a été calculée en utilisant la formule proposée par Cruiziat *et al* (1979) pour le cas d'une feuille amphistomatique $2/r_s = 1/r_{ss} + 1/r_{si}$, avec r_{ss} et r_{si} les résistances stomatiques des faces supérieure et inférieure du phyllode, respectivement. Les valeurs obtenues de r_s sont traduites par la suite en conductance stomatique $k_s = 1/r_s$, car k_s est le paramètre le plus utilisé pour caractériser les mouvements stomatiques.

Les phyllodes restants à la fin de chaque cycle de dessèchement ont été lyophilisés et ont servi pour la détermination des sucres solubles, de la proline, du potassium et du magnésium, composés osmotiques les plus fréquemment accumulés en cas de sécheresse.

Les sucres solubles ont été déterminés à l'antrone par colorimétrie à 640 nm et la proline à la Norleucine à l'aide d'un analyseur d'acides aminés (Albouchi *et al*, 1997).

Le potassium et le magnésium ont été déterminés par spectrophotométrie à absorption atomique et à flamme, respectivement. Leur extraction a été effectuée selon les techniques décrites par Morard et Gullo (1970).

Analyse statistique

L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel SAS PC. Les différences significatives entre les deux traitements ont été déterminées grâce aux tests de Student - Newman Keuls et de la plus petite différence significative (ppds) au seuil de 5%. Le degré de signification des corrélations a été déterminé grâce au test de Pearson.

Résultats et discussions

En condition optimale d'alimentation en eau (D), *A. cyanophylla* a gardé le même comportement d'évolution de la croissance au cours du traitement : accroissement significatif de la biomasse totale et de la surface transpirante et maintien d'un développement constamment plus important des parties aériennes (Tableau 1). Des rapports et des comportements analogues ont été observés chez des plants d'*Acer pseudoplatanus* (Khalil et Grace, 1992) et de *Ceratonia siliqua* (Rejeb, 1992) bien alimentés en eau.

Chez les plants stressés (D/6), le déficit hydrique a provoqué au cours du traitement, un retard de croissance variant entre 32 et 54% par comparaison aux témoins. Cette réduction de biomasse chez les phanérophytes est variable selon l'espèce, l'intensité et la durée de la contrainte hydrique (Pallardy et Rhoads, 1993 ; Kimani *et al*, 1994 ; Timbal et Lefebvre, 1995). Toutefois, la réaction d'*A. cyanophylla* face au stress hydrique appliqué a été marquée par la présence de deux phases contrastées au cours du traitement :

- un accroissement faible et non significatif de la biomasse totale et de la surface transpirante au cours des trois premiers mois qui traduit un effet de choc subi par les plants D/6 lors du passage d'une irrigation optimale (avant l'application du traitement) à une dose déficiente. D'autre part, le rapport de matière sèche produite durant cette période par les plants D/6 à celle produite par les plants D (0.23) a été très voisin du rapport des doses d'irrigation (1/6) témoignant indirectement d'une efficacité d'utilisation de l'eau à peu près identique chez les plants des deux traitements. Ces résultats semblent indiquer que les plants stressés n'ont pas pu, en l'espace de trois mois, développer de mécanismes d'endurcissement à la sécheresse.

- après trois mois de traitement à la dose D/6, on a noté un accroissement significatif de la biomasse et de la surface transpirante, un rapport R/PA croissant dans le temps (Tableau 1) et une nette amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau traduite par une augmentation des rapports de biomasses produites entre plants D/6 et D (0.46 à 0.52). Ces résultats semblent prouver que le préconditionnement à la dose D/6 pendant une durée supérieure à 3 mois a entraîné un endurcissement à la sécheresse des plants d'*A. cyanophylla*. Cet

endurcissement serait une conséquence de modifications survenues au cours du préconditionnement aux niveaux morphologique, physiologique et métabolique.

Tableau 1 : Variation au cours des traitements hydriques de la biomasse totale, du rapport des biomasses Racines/Parties Aériennes (R/PA) et de la surface transpirante de plants d'*Acacia cyanophylla* Lindl. irrigués à la dose optimale (D) ou déficiente (D/6). Les chiffres suivis de la même lettre indiquent l'absence de différences significatives au seuil de 5%, n = 3 pour les mesures de biomasse et 6 pour celles de la surface transpirante.

Durée (mois)	Biomasse totale (g)		R / PA		Surface transpirante (cm ²)	
	D	D/6	D	D/6	D	D/6
0	17.20 ± 1.20 a	17.50 ± 1.70 b	0.44 ± 0.05 a	0.44 ± 0.05 a	634 ± 41 a	643 ± 40 a
1	30.11 ± 4.15 c	20.59 ± 3.31 b	0.45 ± 0.05 a	0.46 ± 0.05 a	905 ± 44 b	668 ± 35 ae
3	54.55 ± 7.60 d	26.00 ± 3.47 b	0.44 ± 0.06 a	0.49 ± 0.05 a	1106 ± 61 c	724 ± 30 e
5	75.52 ± 8.23 e	36.86 ± 4.06 f	0.45 ± 0.06 a	0.53 ± 0.04 a	1146 ± 65 c	776 ± 31 e
13	183.00 ± 12.67 g	84.00 ± 7.3 h	0.43 ± 0.07 a	0.56 ± 0.07 a	1594 ± 94 d	950 ± 54 f

L'accroissement du rapport R/PA au cours du traitement D/6 traduit une tendance d'allocation préférentielle de biomasse vers les racines. Un tel comportement signalé chez diverses essences forestières est considéré comme un critère d'adaptation à la sécheresse (Abrams, 1990 ; Timbal et Lefebvre, 1995).

Le déficit de surface transpirante observé chez les plants stressés a varié de 26 à 40% par rapport aux témoins. Un tel effet du manque d'eau a été signalé chez diverses espèces forestières (Khalil et Grace, 1992 ; Pallardy et Rhoads, 1993 ; Timbal et Lefebvre, 1995). Cette réduction de la surface transpirante permet une économie d'eau. Elle est considérée de ce fait comme un critère d'adaptation à la sécheresse (Noitsakis et Tsiouvaras, 1990). Elle a été accompagnée chez *A. cyanophylla* d'une réduction de la conductance stomatique aux déficits hydriques modérés. En effets, les résultats de mesures de k_s et Ψ_{min} effectuées après 3 mois de traitement hydrique montrent que k_s a été maintenue chez les plants D/6 à des valeurs plus faibles que celles des plants D pour des $\Psi_{min} > -2.20$ MPa, mais plus élevées pour des Ψ_{min} plus bas (Fig. 1). Ceci témoigne d'une meilleure régulation stomatique chez les plants préconditionnés. Des effets comparables du préconditionnement à la sécheresse ont été signalés chez *Populus deltoïdes* (Schulte *et al.*, 1987) et *Picea mariana* (Zwiazek et Blake, 1989).

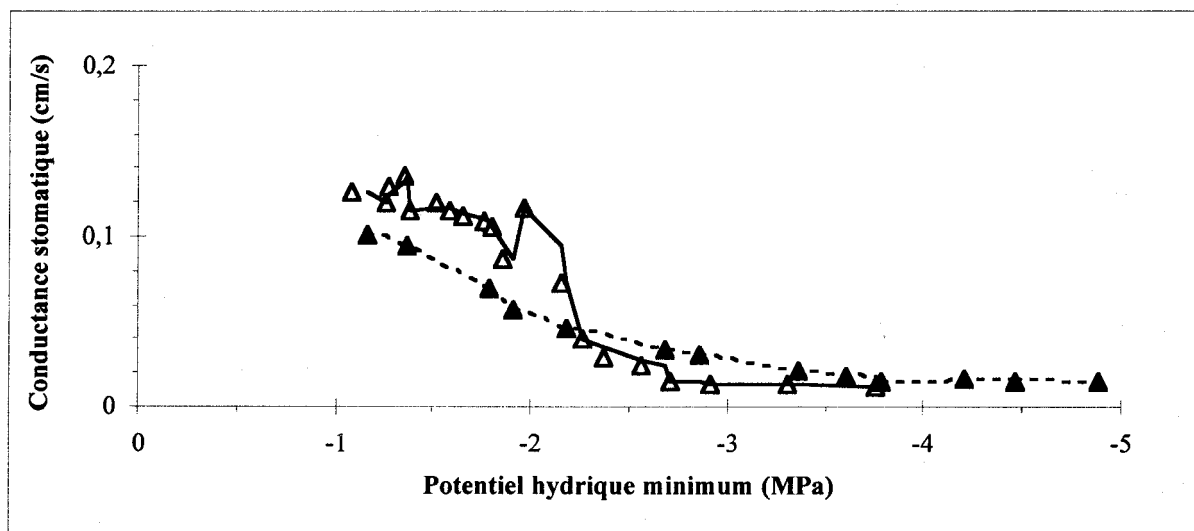


Fig. 1: Evolution de la conductance stomatique (k_s) en fonction du potentiel hydrique minimum (Ψ_{\min}) de phyllodes d'*Acacia cyanophylla* Lindl. irrigués à la dose optimale D (—) ou déficiente D/6 (---) durant 5 mois puis soumis à un cycle de dessèchement par arrêt de l'arrosage, $n = 3$.

Parmi les autres critères d'endurcissement à la sécheresse figure le maintien d'une turgescence positive et d'une ouverture stomatique à des potentiels hydriques très bas, permettant la poursuite des processus physiologiques de croissance. Les résultats de mesures réalisées sur les plants des deux traitements à la fin des cycles de dessèchement tendent à confirmer l'effet progressif du préconditionnement au manque d'eau sur l'endurcissement à la sécheresse des plants D/6 (Tableau 2).

Tableau 2 : Variation des valeurs seuils de potentiels hydriques de turgescence nulle (Ψ_0) et de fermeture stomatique (Ψ_{fst}) de plants d'*Acacia cyanophylla* Lindl. irrigués à la dose optimale (D) ou déficiente (D/6) puis soumis à un cycle de dessèchement au bout d'un, trois, cinq et treize mois de traitements hydriques. Ψ_0 et Ψ_{fst} sont obtenus à la fin des cycles lorsque $\Psi_p = 0$ ($\Psi_p = \Psi_{\min}$) et k_s s'est stabilisée à des valeurs très faibles (de l'ordre de 0.015 cm.s^{-1}) correspondant à la fermeture des stomates. Les chiffres suivis de la même lettre indiquent l'absence de différences significatives au seuil de 5%, $n = 3$.

Durée (mois)	Ψ_0 (MPa)		Ψ_{fst} (MPa)	
	D	D/6	D	D/6
1	-2.45 ± 0.04 a	-1.95 ± 0.08 e	-2.50 ± 0.08 a	-1.90 ± 0.08 d
3	-2.60 ± 0.06 b	-3.00 ± 0.13 f	-2.60 ± 0.04 a	-3.00 ± 0.15 e
5	-2.70 ± 0.11 c	-3.60 ± 0.13 g	-2.70 ± 0.06 b	-3.50 ± 0.20 f
13	-2.90 ± 0.09 d	-4.50 ± 0.13 h	-3.00 ± 0.12 c	-4.30 ± 0.14 g

Notons tout d'abord que les valeurs relativement basses de Ψ_0 et Ψ_{fst} observées chez les plants témoins à la fin des cycles de dessèchement attestent de la bonne prédisposition génotypique d'*A. cyanophylla* vis à vis de la sécheresse. En effet, les plants D ont gardé en conditions de déficit hydrique sévère leurs stomates ouverts à des niveaux assez bas de Ψ_{\min} (-2.50 à -3.00 MPa). Ces valeurs sont comparables à celles signalées chez plusieurs essences forestières adaptées à la sécheresse (Aussenac, 1980 ; Dreyer *et al*, 1990 ; Bréda *et al*, 1993). La légère baisse de Ψ_0 et de Ψ_{fst} observée au cours du traitement serait due d'une part, à l'effet de l'âge et d'autre part, à l'effet d'un déficit hydrique d'intensité légère subi chaque fois par les plants D entre 2 irrigations successives.

Chez les plants D/6, les valeurs des seuils de turgescence nulle et de fermeture stomatique enregistrées à la fin du premier cycle ont été plus élevées que celles des plants témoins (Tableau 2). Elles montrent qu'au bout d'un mois de préconditionnement à la dose D/6, *A. cyanophylla* a réagi face à une sécheresse accusée par une fermeture stomatique précoce (à $\Psi_{\min} = -1.90$ MPa) témoignant ainsi que cette durée a été insuffisante à la mise en place de mécanismes d'endurcissement. Ce comportement est analogue à celui de certaines essences

forestières aptes à éviter la sécheresse telles que *Pinus pinaster* (Aussenac et Valette, 1982), *Quercus afares* et *Quercus faginea* (Acherar *et al.*, 1991) ou *Abies alba* (Guicherd, 1993).

A partir de 3 mois, la baisse progressive et significative de Ψ_0 et Ψ_{fst} atteste chez les plants préconditionnés d'un durcissement croissant au cours du temps qui s'est manifesté par le maintien d'une turgescence positive et d'un niveau d'ouverture des stomates à des potentiels hydriques d'autant plus bas que la durée du préconditionnement a été plus longue. Des effets comparables du préconditionnement à la sécheresse ont été observés chez certaines essences forestières telles que *Ceratonia siliqua* (Rejeb *et al.*, 1988), *Pinus radiata* (Squire *et al.*, 1988), *Picea glauca* et *Pinus banksiana* (Koppelaar *et al.*, 1991) ou divers clones de peuplier (Tschaplinski et Tuskan, 1994).

Le maintien d'une turgescence positive en cas de déficit hydrique sévère peut résulter, selon les espèces, d'une augmentation du contenu en eau de l'apoplasme (Cutler *et al.*, 1977) ou d'un accroissement de l'élasticité des membranes cellulaires (Fan *et al.*, 1994) et/ou d'un ajustement osmotique par accumulation active de composés organiques et minéraux (Morgan, 1984). Dans un travail précédent nous avons montré que les deux premières hypothèses ne peuvent être retenues puisque des plants d'*A. cyanophylla* préconditionnés à la dose D/6 durant 5 mois avaient des membranes moins élastiques que celles des témoins et un contenu en eau apoplasmique équivalent (Albouchi et El Aouni, 1988). Les résultats des analyses biochimiques réalisées à la fin de chaque cycle de dessèchement sur des phyllodes des plants D et D/6 tendent à confirmer la troisième hypothèse (Fig. 2).

Chez les plants D, les teneurs en sucres solubles, en proline, en K^+ et en Mg^{++} n'ont pas subi de variations significatives au cours du traitement.

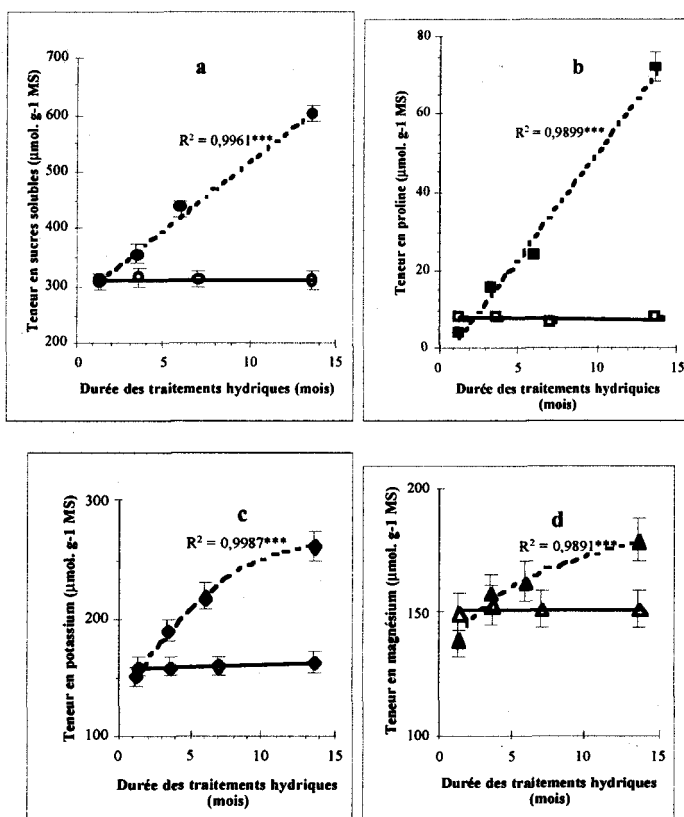


Fig. 2 : Influence de la durée des traitements hydriques à la dose optimale D (—) ou déficiente D/6 (----) sur les teneurs en sucres solubles (a), en proline (b), en potassium (c) et en magnésium (d) de phyllodes d'*Acacia cyanophylla* Lindl., à la fin des cycles de dessèchement, n = 3.

Chez les plants D/6, on a noté au bout d'un mois de traitement des teneurs comparables à celles des témoins de tous les composés à l'exception de la proline qui a été présente en quantités plus faibles (Fig. 2-b). A partir de 3 mois, les plants préconditionnés ont montré des signes d'un ajustement osmotique croissant qui s'est traduit par une accumulation croissante de sucres solubles, de proline, de K^+ et de Mg^{++} . Ceci témoigne du rôle

joué par ces composés dans l'abaissement du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien d'une turgescence positive à des potentiels hydriques très bas et rejoint les résultats de nombreux travaux qui ont montré que ces composés forment la majeure partie des solutés accumulés en cas de sécheresse chez diverses espèces végétales (Morgan, 1984 ; Grieu *et al*, 1988 ; Venekamp, 1989 ; Tschaplinski et Tuskan, 1994). La forte accumulation de ces composés induite par le manque d'eau contribuerait à la protection des systèmes enzymatiques et membranaires chez *A. cyanophylla* ce qui permettrait la poursuite des processus de croissance en conditions de sécheresse sévère.

Conclusion

Les résultats obtenus sur les plants témoins soumis à des cycles de dessèchement attestent de la bonne prédisposition génotypique vis à vis de la sécheresse chez *A. cyanophylla* : teneurs relativement élevées des phyllodes en composés osmotiques et stomates ouverts à des niveaux assez bas de Ψ_{min} (-2,45 à -3,00 MPa).

Le préconditionnement à la sécheresse a induit chez les plants stressés, au bout de trois mois, un durcissement progressif. En effet, les résultats montrent qu'au cours des trois premiers mois, les plants stressés n'ont acquis aucune accommodation vis à vis de la sécheresse (fort ralentissement de la croissance, potentiel hydrique de turgescence nulle plus élevé et teneur en proline plus faible en comparaison avec les plants témoins). Ceci a été dû au choc hydrique brutal subi par ces plants lors du passage de l'irrigation à la dose optimale (avant l'application du stress) à la dose déficiente. En absence de mécanismes de tolérance, ces plants ont réagi au manque d'eau par une réduction de la conductance stomatique et une fermeture précoce des stomates (à $\Psi_{min} = -1,90$ MPa).

A partir de trois mois, tous les paramètres analysés montrent que les plants stressés ont été le siège de modifications morphologiques, physiologiques et biochimiques témoignant de leur durcissement croissant vis à vis de la sécheresse, notamment :

- * une reprise de la croissance avec une allocation préférentielle de biomasse vers les racines;
- * une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau en comparaison avec les plants témoins suite à une réduction de la surface transpirante et de la conductance stomatique aux déficits hydriques modérés ($\Psi_{min} > -2,20$ MPa);
- * une tolérance accrue aux stress hydriques sévères : conductance stomatique et turgescence plus fortes et positives à des niveaux très bas de Ψ_{min} (-3,00 à -4,50 MPa), des Ψ_{π} décroissants au cours du temps en raison d'une accumulation croissante de sucres solubles, de proline, de potassium et de magnésium.

L'ensemble de ces résultats tend à prouver que le préconditionnement à la sécheresse améliore la capacité de tolérance au manque d'eau chez *A. cyanophylla*. Il induit chez cette espèce un durcissement progressif dont le degré dépend, à la fois, de l'intensité du stress appliqué et de la durée du préconditionnement. Des conséquences pratiques certaines peuvent en découler, dans la mesure où un tel traitement au niveau des pépinières forestières peut aider à surmonter le choc de transplantation et à améliorer les chances de réussite des reboisements à base d'*A. cyanophylla* dans les zones arides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abod S., Sandi S., 1983 - Effect of restricted watering and its combination with root on growth capacity, water status and food reserves of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* seedlings. *Plant and Soil*, **71**, 123-129.
- Abrams M.D., 1990 - Adaptations and responses to drought in *Quercus* species of North America. *Tree Physiol.*, **7**, 227-238.
- Acherar M., Rambal S., Lepart J., 1991- Evolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Ann. Sci. For.*, **48**, 561-573.
- Albouchi A., 1985 - *Etude des caractéristiques hydriques des phyllodes d'Acacia cyanophylla Lindl. : Compartimentation de l'eau et adaptation phénotypique à la sécheresse*. DEA, Fac.Sci.Tunis, 133 p.
- Albouchi A., El Aouni M.H., 1988 - Etude des réponses à la contrainte hydrique de phyllodes d'*Acacia cyanophylla* Lindl. cultivé sous irrigation optimale ou déficiente. In : *Time Scales and Water Stress* (di Castri F., Floret Ch., Rambal S., Roy J., eds.).UIBS pub., Paris, 63-72.
- Albouchi A., Ghir R., El Aouni M.H., 1997 - Durcissement à la sécheresse et accumulation de glucides solubles et d'acides aminés libres dans les phyllodes d'*Acacia cyanophylla* Lindl. *Ann. Sci. For.*, **54**, 155-168.

- Arnott J.T., Grossnickle S.C., Puttonen P., Mitchell A.K., Folk R.S., 1993 - Influence of nursery culture on growth, cold hardiness, and drought resistance of yellow cypress. *Can. J. For. Res.*, **23**, 2537-2547.
- Aussenac G., 1980 - Comportement hydrique de rameaux excisés de quelques espèces de sapins et de pins noirs en phase de dessiccation. *Ann. Sci. For.*, **37**, 173-264.
- Aussenac G., El Nour M., 1986 - Reprise des plantes et stress hydriques. *Ann. Sci. For.*, **38**, 264-270.
- Aussenac G., Valette J.C., 1982 - Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens* et de divers pins dans le Ventoux. *Ann. Sci. For.*, **39**, 41-62.
- Blake T.J., Bevilacqua E., Zwiazek J.J., 1991 - Effects of repeated stress on turgor pressure and cell elasticity changes in black spruce seedlings. *Can. J. For. Res.*, **21**, 1329-1333.
- Bréda N., Cochard H., Dreyer E., Granier A., 1993 - Water transfer in a mature oak stand (*Quercus petraea*): seasonal evolution and effects of a severe drought. *Can. J. For. Res.*, **23**, 1136-1143.
- Cruiziat P., Thomas D.A., Bodet C., 1979 - Comparaison entre mesures locales et mesure globale de la résistance stomatique de feuilles de Tournesol (*Helianthus annuus*). *OEcolog. Plant.*, **14**, 447-459.
- Cutler J.M., Rains D.W., Loomis R.S., 1977 - The importance of cell size in the water relations of plants. *Plant Physiol.*, **40**, 255-260.
- Dreyer E., Bousquet F., Ducrey M., 1990 - Use of pressure volume curves in water relations analysis on woody shoots: Influence of rehydration and comparison of four European oak species. *Ann. Sci. For.*, **47**, 285-297.
- Fan S., Blake T.J., Blumwald E., 1994 - The relative contribution of elastic and osmotic adjustments to turgor maintenance of woody species. *Physiol. Plant.*, **90**, 408-413.
- Gebre G.M., Kuhns M.R., Brandle J.R., 1994 - Organic solute accumulation and dehydration tolerance in three water-stressed *Populus deltoides* clones. *Tree Physiol.*, **14**, 575-587.
- Grieu P.H., Aussenac G., Larcher F., 1988 - Sécheresse édaphique et concentrations en quelques solutés organiques des tissus foliaire et racinaire de trois espèces de conifères: *Cedrus atlantica* Manetti, *Pseudotsuga macrocarpa* (Torr) Mayr, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco., *Ann. Sci. For.*, **45**, 311-322.
- Guicherd P., 1993 - *Ecophysiologie du sapin (Abies alba Mill.) dans les Alpes françaises. Comportement hydrique, activité photosynthétique et composition biochimique des aiguilles.* Thèse de Doctorat, Univ. Grenoble I, France, 139p.
- Kaushal P., Aussenac G., 1990 - Drought preconditioning of corsican pine and cedar of Atlas seedlings: photosynthesis, transpiration and root regeneration after transplanting. *Acta Oecologica*, **11**, 61-78.
- Khalil A.A.M., Grace J., 1992 - Acclimation to drought in *Acer Pseudoplatanus* L. (Sycamore) seedlings. *J. Exp. Bot.*, **43**, 1591-1602.
- Kimani P.M., Benzioni A., Ventura M., 1994 - Genetic variation in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) in response to successive cycles of water stress. *Plant and Soil*, **158**, 193-201.
- Koppenaar R.S., Tschaplinski T.J., Colombo S.J., 1991 - Carbohydrate accumulation and turgor maintenance in seedling shoots and roots of two boreal conifers subjected to water stress. *Can. J. Bot.*, **69**, 2522-2528.
- Kramer P.J., 1986 - The role of physiology in forestry. *Tree Physiol.*, **2**, 1-16.
- Larcher W., 1983 - *Physiological plant ecology.* Springer-Verlag pub. Berlin, Heidelberg, New-York and Tokyo, 303 p.
- Marion J., Poupon J., 1974 - *Manuel pratique de reboisement* F.A.O. : SF/TUN 11. Rapport technique n°2, 345 p.
- Morard P., Gullo J.L., 1970 - Minéralisation des tissus végétaux en vue du dosage de P, K, Ca, Mg, Na. *Ann. Agron.*, **21**, 229-236.
- Morgan J.M., 1984 - Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, **35**, 299-319.
- Noïtsakis B., Tsiouvaras C., 1990 - Seasonal changes in components of leaf water potential and leaf area growth rate in kermes oak. *Acta Oecologica*, **11**, 419-427.
- Pallardy S.G., Rhoads J.L., 1993 - Morphological adaptations to drought in seedlings of deciduous angiosperms. *Can. J. For. Res.*, **23**, 1766-1774.
- Rejeb M.N., 1992 - *Etude des mécanismes de résistance à la sécheresse du caroubier (Ceratonia siliqua L.) en Tunisie.* Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tunis, 199p.
- Rejeb M.N., Henchi B., Louguet P., Laffray D., Boukhris M., 1988 - Etude des caractéristiques hydriques et de la photosynthèse chez une légumineuse forestière de Tunisie (*Ceratonia siliqua* L.) soumise à des contraintes hydriques. *Bull. Soc. Sci. Nat. Tunisie*, **18**, 63-70.

- Schulte P.J., Hinckley T.M., Stettler R.F., 1987 - Stomatal responses of *Populus* to leaf water potential. *Can. J. Bot.*, **65**, 255-260.
- Squire R.O., Neales T.F., Loveys B.R., Attiwill P.M., 1988 - The influence of water deficits on needle conductance, assimilation rate and abscisic concentration of seedlings of *Pinus radiata* D. Don. *Plant Cell Environ.*, **11**, 13-19.
- Stewart J.D., Bernier P.Y., 1995 - Gas exchange and water relations of 3 sizes of containerized *Picea mariana* seedlings subjected to atmospheric and edaphic water stress under controlled conditions. *Ann. Sci. For.*, **52**, 1-9.
- Timbal J., Lefebvre C., 1995 - Evolution saisonnière du potentiel hydrique et de la croissance de jeunes plants de *Quercus rubra* et de *Quercus palustris* au cours d'une sécheresse édaphique. *Ann. Sci. For.*, **52**, 67-79.
- Tschaplinski T.J., Tuskan G.A., 1994 - Water-stress tolerance of black and eastern cottonwood clones and four hybrid progeny. II. Metabolites and inorganic ions that constitute osmotic adjustment. *Can. J. For. Res.*, **24**, 681-687.
- Van Den Driessche R., 1992 - Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen, and potassium treatments. *Can. J. For. Res.*, **22**, 740-749.
- Venekamp J.H., 1989 - Regulation of cytosol acidity in plants under conditions of drought. *Physiol. Plant.*, **76**, 112-117.
- Zwiazek J.J., Blake T.J., 1989 - Effects of preconditioning on subsequent water relations, stomatal sensitivity, and photosynthesis in osmotically stressed black spruce. *Can. J. Bot.*, **67**, 2240-2244.

COMMENT RAISONNER ET GERER LES TECHNIQUES DE COUPE A DES FINS PASTORALES DANS LES PEUPELEMENTS D'ACACIA CYANOPHYLLA LINDL. EN ZONES ARIDES ?

AMMARI Youssef^{*}, Zine El Abidine ABDENBI^{**},
Mustapha KSONTINI^{*}, Mohamed QARROU^{**} et
Néjib REJEB^{*}
^{*}Institut National de Recherches en Génie rural, Eaux &
Forêts. BP: 10, 2080 Ariana. Tunisie.
^{**}Ecole National forestière d'Ingénieurs Salé Maroc.

RESUME

Durant les dernières décennies, la Tunisie a déployé des efforts considérables dans les programmes de reboisement à base d'*Acacia cyanophylla* Lindl. en vue d'apporter un supplément d'unités fourragères au cheptel pendant les périodes de soudure et les années de sécheresse. Nos connaissances sur des bases scientifiques solides restent très limitées quant à l'effet des coupes pratiquées sur la vigueur et la production des peuplements d'*Acacia cyanophylla*. Pour ce faire, un suivi approfondi de l'évolution des paramètres physiologiques ($\Psi_{\text{pré-aube}}$ et Ψ_{midi}) et morphologiques (hauteur et biomasse) durant une saison de croissance (Nov. 94 - Mai 95) a été effectué sur des peuplements de deux âges différents (3 et 6 ans) dans le domaine pastoral d'Ennasr, situé au centre de la Tunisie (bioclimat: semi-aride inférieur), en réponse à :

- Des coupes totales à des hauteurs de 20, 40 et 60 cm du sol;
- Des coupes partielles de 30%, 60% et 100% par le haut et par le bas des branches secondaires situées à une hauteur supérieure ou égale à 2 m, et des branches situées à une hauteur inférieure ou égale à 1 m du sol;
- Des coupes combinées par le haut et par le bas des branches secondaires sous les mêmes intensités de coupe utilisées dans les coupes partielles.

Les résultats obtenus ont révélé que la coupe a un effet significatif sur l'évolution des paramètres physiologiques et morphologiques. La plus grande production de biomasse (Kg MS/arbre et nombre de rejets) a été obtenue chez les arbres ayant subi une coupe à une hauteur de 60 cm du sol. Pour les coupes combinées, il s'est révélé que la production de biomasse est influencée par l'intensité de coupe. La diminution de la biomasse foliaire par la coupe a permis à ces arbres de tolérer la sécheresse et les hautes températures. L'évolution des Paramètres physiologiques et morphologiques a aussi varié en fonction du substrat, de la structure du sol et de la salinité.

Pour une meilleure gestion rationnelle des peuplements d'Acacia à vocation pastorale, il paraît judicieux de pratiquer dans l'état actuel des coupes sévères par le haut et par le bas respectivement pour les peuplements âgés de six ans et trois ans en attendant les résultats de nos investigations sur l'épuisement de la souche en fonction de l'intensité de ces coupes.

SUMMARY

During the last decades, Tunisia has deployed considerable efforts in afforestation programs using *Acacia cyanophylla* Lindl. in order to provide supplementary forage resources to livestock in dry seasons and years. Knowledge based on sound scientific bases of cutting effects on the vigor and production of *Acacia cyanophylla* stands remain limited. In this matter, an extended research work concerning the evolution of physiological (Ψ_{predawn} and Ψ_{noon}) and morphological (height and biomass) parameters was carried out during the growing season Nov 94 - May 95 on stands of two different ages (3 and 6 years old) at the Ennasr Pastoral Domain, located in Central Tunisia (lower arid bioclimatic conditions), in response to :

- Whole cutting at 20, 40, and 60 cm heights from ground level,
- Partial cutting of 30, 60, and 100% from above and below the secondary branches at a height of 2m or more, and at a height of 1m or less from the ground level.
- Combined cuttings from above and below the secondary branches using the same cutting intensities as those under partial cuttings.

Results showed that cutting had a significant effect on the response of the physiological and morphological parameters. The greatest biomass production (Kg Dry Matter/tree and sprout numbers) was obtained from trees cut at 60 cm from the ground. For combined cuttings, biomass production was found to be affected by the intensity of cutting. The reduction in leaf biomass of trees subjected to cutting allowed them to tolerate drought and high temperatures. Also, the response of physiological and morphological parameters fluctuated according to soil type, soil structure and salinity levels.

For a better and rational management of pastoral *Acacia* stands, it seems presently appropriate to use severe cuttings from above and below for stands aged respectively six and three years, while waiting for the results of further investigations about stump exhaustion in relation to cutting intensity.

Key words : *Acacia cyanophylla* ; cutting ; vigor ; production ; Water potential.

INTRODUCTION

En Tunisie, la majorité des parcours sont situés dans les zones semi-arides et arides et couvrent une superficie de 55 000 km, soit 34% du territoire national. Ces parcours jouent un rôle vital quant à leur apport extrêmement considérable au niveau du bilan fourrager de l'élevage extensif. Soumis à un système d'exploitation pastoral intensif, ces parcours ont atteint un stade de dégradation très avancé. Dans le gouvernorat de Kairouan, objet de notre étude, le déficit fourrager a atteint 311 10⁶ UF/an (DGF 1996).

L'aridité du milieu et la surcharge ont conduit à la rareté des ressources pastorales. Durant les années de sécheresse, la production fourragère a été estimée dans la zone de Kairouan à 60 UF/ha/an (DGF 1993). Compte tenue de la situation critique de ces milieux, des actions d'amélioration sylvo-pastorales à base d'arbustes fourragers ont été entreprises afin d'améliorer leur productivité pastorale et de constituer des réserves fourragères presque permanentes et qui seront utilisées pendant les périodes de soudure et de sécheresse.

L'*Acacia cyanophylla* Lindl. est l'arbuste fourrager le plus utilisé dans le gouvernorat de Kairouan et occupe 57% de la superficie totale plantée (DGF 1996). Cet arbuste a révélé une bonne adaptation à la sécheresse et à la salinité (Nasr *et al.* 1986, EL-Lakany 1987, Thomson 1987, Aswathappa *et al.* 1987, Zaafouri *et al.* 1994). En plus de l'utilisation de l'*Acacia* à des fins pastorales, cet arbuste commence à être utilisé dans la fabrication des substrats de croissance des plants forestiers en pépinières forestières (Lamhamedi *et al.* 1995; Oueslati *et al.* 1995). En tenant compte des utilisations multiples de l'*Acacia* et de son espérance de vie limitée, une bonne gestion de ces peuplements basée sur des expériences à long terme en site de reboisement s'avère nécessaire. Durant les années sèches, les nombreuses coupes de branches d'*Acacia* pratiquées par les bergers sur le même arbuste peuvent causer des dommages sérieux qui affectent directement sa pérennité. Les coupes actuelles pratiquées chez l'*Acacia cyanophylla* sont basées uniquement sur le savoir faire du technicien forestier tout en ignorant les réponses favorables de cet arbuste vis-à-vis de certaines coupes spécifiques. En effet, nos récents travaux ont montré que la coupe pratiquée à 60 cm de hauteur a engendré une amélioration significative du nombre de rejets, de phyllodes, de l'allongement des rejets et de la biomasse sèche (Ammari 1995; Ammari et Lamhamedi 1996).

Notre hypothèse de travail est basée sur le fait que les différentes modalités de coupes ont induit des modifications majeures de la physiologie de la partie aérienne. En effet, chaque coupe pourra avoir un effet spécifique sur les relations hydriques de la partie aérienne des arbustes. La mesure des potentiels hydriques de base ou pré-aube (Ψ_B) et de midi (Ψ_M) pourrait montrer si l'élimination d'une partie ou de la totalité de la partie aérienne pourrait modifier la physiologie des arbustes traités. Les objectifs assignés à cette étude consistent à i) évaluer les variations de l'humidité du sol des sites traités tout en tenant compte de la qualité de la station et de l'âge du peuplement, et à ii) suivre l'évolution des potentiels hydriques (Ψ_B & Ψ_M) chez les arbustes d'*Acacia cyanophylla* en réponse à certaines modalités d'exploitations pastorales.

2- Matériel et Méthodes

2-1 présentation des sites d'étude

Les quatre sites d'étude sont situés dans le sud tunisien au sein du domaine pastoral d'Ennasr qui couvre 4471 ha (Lat. Nord: 39° 46'; Long. Est: 8° 68'). Ce domaine est limité au sud par la ville de Kairouan et à l'est par la route GPZ-Sfax. Du point de vue climatique, le domaine pastoral d'étude est soumis à un climat aride à hiver tempéré. La pluviométrie moyenne est de 291 mm. Durant la période d'étude (Janvier 1994-Février 95), les précipitations enregistrées ont atteint 282 mm. Cette zone est exposée aussi au vent chaud qui prend naissance au sud (le sirocco) et peut accentuer fortement l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui peut dépasser 1345 mm/an. La température moyenne annuelle est de 19,1°C. Les températures minimale et maximale absolues enregistrées durant le mois de janvier et de juillet sont respectivement de 4,5°C et de 49°C.

2. 2- Pédologie et caractéristiques des quatre sites d'étude

Dans chacun des quatre sites d'étude, un profil pédologique a été creusé dont la description et l'analyse granulométrique sont décrites en détail par Ammari (1995). Les sols sont généralement squelettiques et halomorphes, utilisés principalement pour des plantations sylvo-pastorales et pour le parcours extensif. Les principales caractéristiques de ces sites sont consignées dans le tableau 1.

2. 3- Modalités d'exploitation pastorale (MEP) : intensité et hauteur de coupe

Le domaine pastoral d'Ennasr a été divisé en quatre sites homogènes en tenant compte de la nature et de la profondeur des sols, de la situation topographique, l'âge et la vigueur des peuplements. Dans chacun des sites, une parcelle «homogène», d'une superficie de 500 x 500 m, a été délimitée et dans laquelle trois arbustes d'*Acacia* représentatives/MEP ont été choisis. Les différentes modalités d'exploitation pastorale expérimentées sont :

- modalité 1 : exploitation totale (ET) à une hauteur de 60 cm du sol;
- modalité 2 : exploitation partielle (EP) par le haut (EPH) et par le bas (EPB). L'EPH a été pratiquée chez les arbustes qui dépassent 2m de hauteur avec des intensités de coupe qui correspondent à l'élimination de 30, 60 et 100% de la biomasse. L'EPB a été pratiquée à une hauteur inférieure à 1 m tout en gardant les mêmes intensités de coupe. Dans le site 4, l'EPH n'a pas été pratiquée car les arbustes ne dépassaient pas 2m de hauteur.
- modalité 3 : exploitation mixte qui consiste à la combinaisons des deux types d'exploitation partielle (EPB & EPH).

2. 4- Paramètres mesurés

Pour chaque modalité d'exploitation pastorale et après sept mois de croissance (novembre 94 - mai 95), trois arbres ont été choisis pour effectuer les mesures de potentiels hydriques de base et de midi (Ψ_B & Ψ_M) sur des branches bien exposées. Ces mesures ont été effectuées immédiatement après la coupe des branches sur le site à l'aide de la chambre à pression (P.M.S. Instrument, Corvallis, OR, USA). Autour de chaque arbuste, l'humidité du sol a été déterminée à l'aide de la sonde à neutrons.

A la fin du cycle végétatif, la biomasse apétale sèche a été déterminée après avoir séché les échantillons dans une étuve à 75°C pendant 48 heures.

Résultats & discussion

Les variations de l'humidité volumique du sol ont été différentes d'un site à l'autre (Figures 1 a, b, c et d). Au cours de la saison de croissance et en été, l'humidité à différentes profondeurs a oscillé entre 10 et 30%. En période de sécheresse, les sols profonds (Figure 1a, site 1) ont pu maintenir un taux d'humidité de 15% à 20 cm de profondeur durant le mois de mai, alors que les autres sites ce taux est inférieur à 10%. Les augmentations observées de l'humidité durant les mois de janvier et avril dans les sites 1 et 2 (Figures 1 a-b) sont dues en grande partie aux averses isolées. A l'exception du site 1 (Figure 1a), l'humidité du sol a atteint son seuil minimum dès le mois de février à cause de la période de sécheresse continue qui s'est prolongée de novembre à mai.

Les différentes modalités d'exploitation (T100% bas, T100% haut, T100%HB, To à 60 cm et le Témoin (non traité)) ont eu un effet sur l'accumulation de la biomasse sèche apétale, les différents paramètres de croissance et sur l'évolution du Ψ_B et de Ψ_M (Figure 2). La coupe pratiquée à 60 cm a permis une bonne production de la matière sèche apétale (Kg de matière sèche/arbuste) par comparaison aux autres modalités d'exploitation (Ammari et Lamhamedi 1996).

L'effet coupe sur les relations hydriques n'est devenu prononcé qu'en conditions de sécheresse. En effet, durant le mois de novembre l'eau n'était pas un facteur limitant par comparaison aux autres mois (janvier - mai) car l'année agricole (1994-1995) était une année de sécheresse exceptionnelle. En plus de l'effet de la modalité d'exploitation, l'âge a eu aussi un effet surtout sur le Ψ_B (Figures 2 a-b versus Figures 3 c-d). Dans les quatre sites, le potentiel Ψ_M était toujours plus élevé (moins négatif) lorsque la coupe est pratiquée à 60 cm (Figure 2). Les valeurs observées pour cette modalité d'exploitation ont varié de -2,4 à -2,1 MPa alors que pour les autres modalités d'exploitation le potentiel Ψ_M était inférieur à -2,5 MPa surtout dans les sites 1, 2 et 4. Vers le mois de mai, le Ψ_B des arbustes ayant subi la coupe à 60 cm ont révélé aussi des valeurs plus élevées (Figure 2). Les plants témoins possédant une surface foliaire importante ont montré des potentiels Ψ_B et de Ψ_M les plus négatifs dans les quatre sites .

Tableau 1. Principales caractéristiques des quatre sites étudiés

caractéristiques	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Situation topographique Pente (%)	Bas fond 1 à 2	Bas fond 1 à 2	Bas fond 1 à 2	Crête 3 à 4
Age des peuplements (ans)	6	6	3	3
Végétation naturelle	Eragrostis papposa Ziziphus lotus Artemisia campestris Atriplex halimus Salsola tetrandra Salsola vermiculata	Atriplex halimus Atriplex malvana Salsola tetrandra Salsola vermiculata Plantago crassifolia Plantago lagopus Cynodon dactylon Mesembryanthemum nodiflorum	Atriplex halimus Atriplex malvana Hordeum maritimum Plantago crassifolia Plantago lagopus Filago sp. Mesembryanthemum nodiflorum	Ajuga iva Artemisia compestris Artemisia herba alba Atractyllis serratuloides Plantago albicans Thymelea hirsuta
salinité	CE* élevée**	CE faible***	CE faible	CE faible

* CE: conductivité Electrique ** élevée : 30 - 45 mmho/cm *** faible : 5 à 10 mmho/cm

L'effet coupe a commencé à être prononcé à partir du mois de décembre. En effet la persistance de la sécheresse avait un effet négatif sur la disponibilité en eau du sol qui a été à son tour affectée par l'intensité de coupe. En effet, plus l'intensité d'exploitation pastorale est sévère (élimination d'une plus grande quantité de matière verte) plus les réserves en eau sont importantes. L'effet de la défoliation et de la diminution de la surface transpirante a été très visible surtout à la fin de nos observations. La diminution de la biomasse aérienne des arbustes par la coupe à différentes hauteurs et à différentes intensités a produit un effet direct sur l'état hydrique du sol surtout lorsque la coupe est totale (diminution de la consommation en eau). Plus l'intensité de défoliation est sévère plus la réponse en croissance est significative et la réaction à la coupe est importante. Golden et Caldwell (1989) ont étudié l'effet de la défoliation sur la croissance d'*Agropyron desertorum* et ont observé que le modèle de coupe (date, intensité et fréquence) affecte d'une manière significative la croissance des individus traités et que l'enlèvement de la vieille biomasse permet de stimuler la formation de la matière verte tendre dont les besoins en eau sont faibles. L'accumulation de biomasse sèche en réponse à la coupe de 60 cm pourra être due à l'effet de compensation par le plant et à l'augmentation de la concentration de l'azote (Senock *et al.* 1991; Hoogesteger et Karlsson 1992). L'augmentation de la photosynthèse chez les plants partiellement défoliés est attribuée à l'augmentation des conductances stomatale et du mésophyle au CO₂ (Wallace *et al.* 1984).

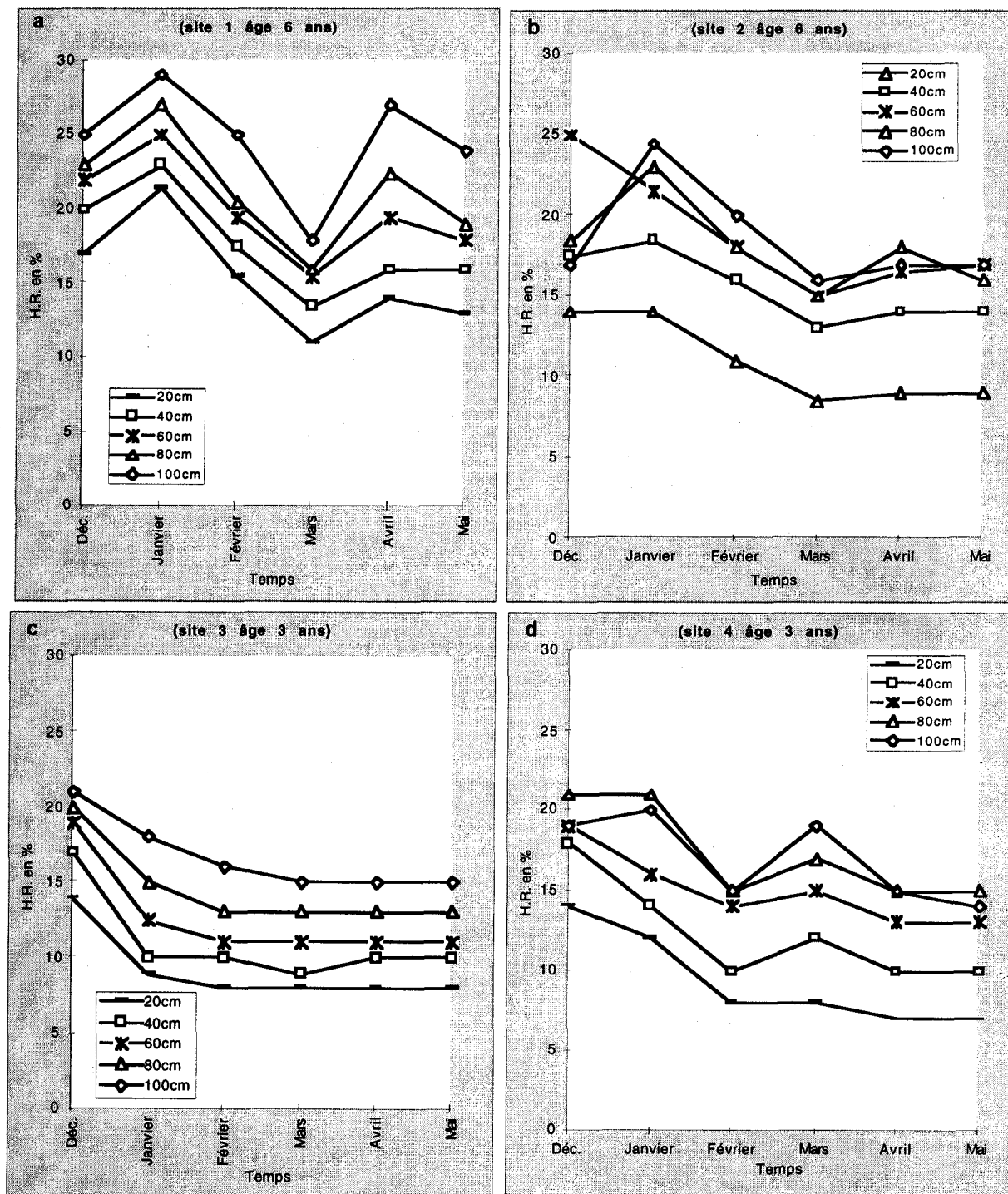


Figure 1. Variations des humidités volumiques (%) à différentes profondeurs du sol dans les quatre sites où les arbustes d'*Acacia cyanophylla* ont subi les différentes modalités d'exploitation pastorale.

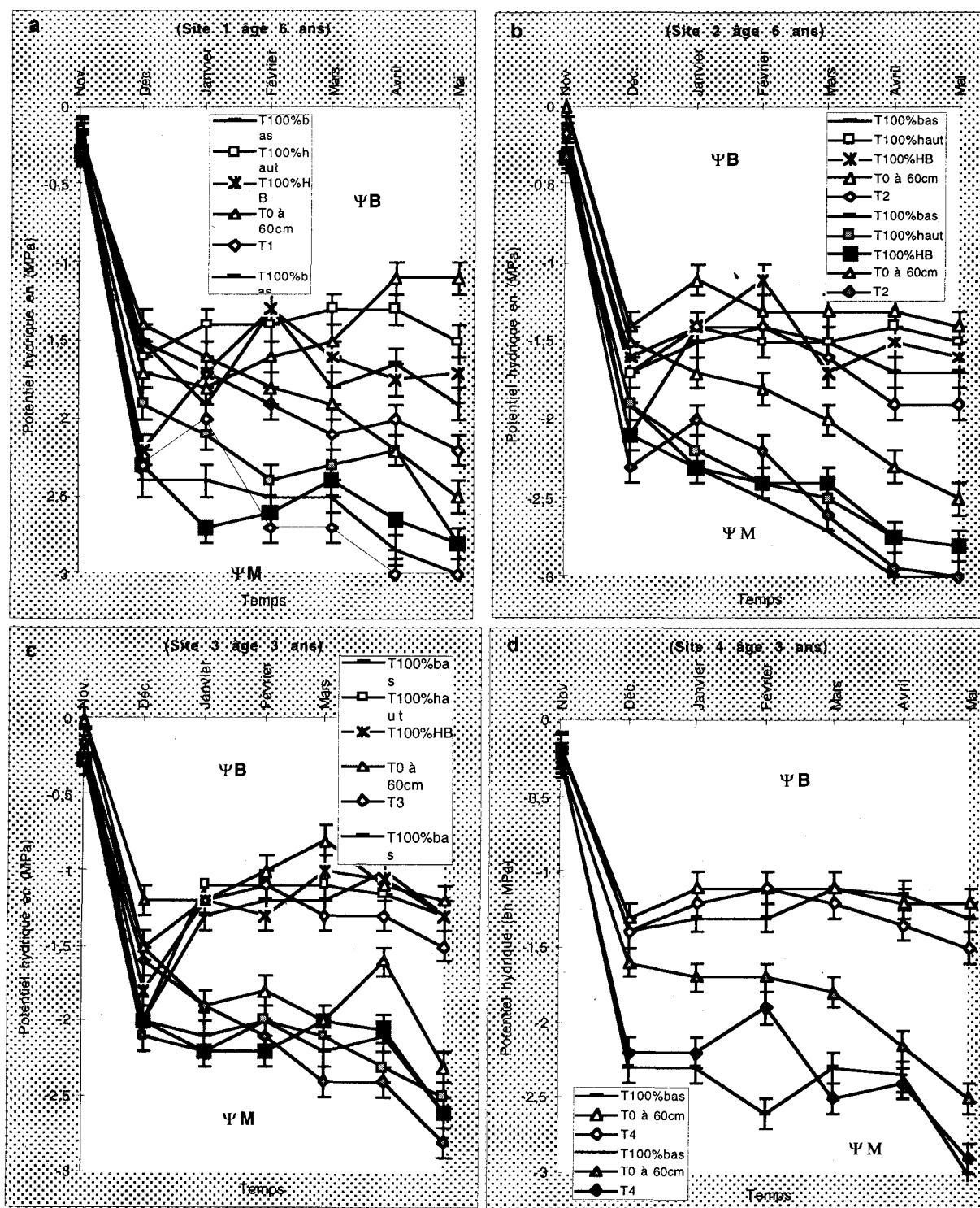


Figure 2. Variations des potentiels hydriques de base Ψ_B et de midi Ψ_M chez les arbustes d'*Acacia cyanophylla* Lindl. soumis à différentes modalités d'exploitation pastorale dans les quatre sites.

Conclusion & Recommendations

Nos investigations sur les réponses morphologiques et physiologiques des arbustes d'*Acacia cyanophylla* suite aux différentes modalités d'exploitation pastorale nous ont permis de constater que :

* Le degré de sévérité de la coupe a un effet positif sur la réaction des arbustes. La réponse obtenue en pratiquant la coupe par le haut est nettement supérieure à celle obtenue par les coupes par le bas, ce qui laisse présager que l'*Acacia cyanophylla* s'adapte mieux au traitement en têtard;

* La réponse d'*Acacia cyanophylla* est intimement liée aussi à l'âge des peuplements. L'âge de 6 ans a fourni les meilleures réponses. Toutefois, il est à signaler que l'*Acacia cyanophylla* en jeune âge s'adapte bien à des opérations d'élagage et de dépressage par le bas.

* Les arbustes traités ont montré un état de stress hydrique moins critique que les arbustes témoins non coupés. En conditions de sécheresse comme c'est le cas de l'année agricole (1994-95), la coupe de l'*Acacia cyanophylla* permet la réalisation d'un double objectif :

- Une production de la biomasse verte et tendre pour la subsistance des animaux,
- Une diminution de la consommation en eau (utilisation plus rationnelle), ce qui influe sur le bilan hydrique total du sol et atténue la concurrence entre espèces ligneuses du sous bois.

A la lumière de ces conclusions nous recommandons :

* Pour les peuplements plus âgés, la coupe totale par le haut à 60 cm constituerait une technique d'exploitation et de gestion de l'*Acacia cyanophylla* adéquate et productive en biomasse foliaire, objectif recherché par les éleveurs, aussi bien sur les plans quantitatif que qualitatif.

* Pour les peuplements jeunes, les traitements sous forme d'élagage et d'ébranchage par le bas permettent de mieux éduquer et valoriser les peuplements d'*Acacia cyanophylla*, ce qui permet de répondre parfaitement aux besoins d'une exploitation directe par les animaux sans compromettre la pérennité des arbustes,

* La coupe totale à 60 cm du sol permet le rajeunissement des peuplements mutilés par le broutage direct et par les bergers. Une telle production de biomasse foliaire de bonne qualité à la portée de la dent du bétail permet de répondre aux besoins permanents des animaux,

* prévoir des plantations d'*Acacia cyanophylla* qui répondent spécifiquement aux besoins des pépinières forestières.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ammari, Y. 1995. Contribution à l'étude des réponses morphologiques et écophysologiques de l'*Acacia cyanophylla* Lindl. aux techniques d'exploitation dans un but de valorisation, gestion et aménagement sylvo-pastoral. (Domaine pastoral «Ennasr», Gouvernorat de Kairouan, Tunisie). Mémoire de troisième cycle. Ecole Nationale d'Ingénieurs, Salé. Maroc.
- Ammari, Y. et Lamhamedi, M. S. 1996. Développement morphologique et biomasse D'*Acacia cyanophylla* Lindl. en réponse aux différentes modalités d'exploitation pastorale dans les zones arides en Tunisie. In: The Proceedings on Native and Exotic Fodder Shrub in Arid and Semi-arid Zones. 27 October to 2 November 1996. Tunisia.
- DGF 1993. Projet de développement agricole intégré de Kairouan. Volume I: Rapport principal. Document du Fonds international de développement agricole. Direction Générale des Forêts. Tunisie.
- DGF 1996. Résultats de l'inventaire pastoral national. Direction générale des forêts. Tunisie.
- Aswathappa N., N. E. Marcar and L. A. J. Thomson. 1987. Salt tolerance of Australian tropical and subtropical Acacias. Pages 70-73 in Australian Acacias in Developing Countries. Proceedings of an international workshop held at the Forestry Training Centre, 4-7 August 1986, Gympie, Qld., Australia (J. W. Thurnbull ed.). Australia.
- Golden, W. G et Caldwell, M. M. 1989. The effects of the spatial pattern of defoliation on growth of tussock grass. *Oecologia*. 80: 289-296.
- Hoogesteger, J. And P. S. Karlsson. 1992. Effects of defoliation on radial stem growth and photosynthesis in the mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*). *Functional Ecology*. 6: 317-323.
- Lamhamedi, M. S., Ksontini, M., Fecteau, B., Fortin, J. A., de Chantal, M. 1995. Eléments de réflexion sur le substrat d'élevage des plants dans trois pépinières forestières pilotes en Tunisie. Projet Bird 3601 TUN. Direction Générale des Forêts, Tunisie. 17p.
- EL-Lakany, M. H.. 1987. Use of Australian Acacias in north Africa. Pages 116-117 in Australian Acacias in Developing Countries. Proceedings of an international workshop held at the Forestry Training Centre, 4-7 August 1986, Gympie, Qld., Australia (J. W. Thurnbull ed.). Australia.
- Nasr H., R. Sghari, A. Mhiri and M. J. Elloumi. 1986. Comportement d'*Acacia cyanophylla* Lindl. Dans un sol Salé: résultats préliminaires. Pages 221-236. In Colloque sur les végétaux en milieu aride, 8 - 10 Septembre 1986, Jerba, Tunisie Nefzaoui, A. and A. Chermiti. 1990. Place et rôle des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi-arides de la Tunisie. Pages 55-69 in Séminaire maghrébin d'Agroforesterie. Actes du Séminaire, 23-27 Octobre 1989, Jebel Oust, Tunisie. Ministère de l'Agriculture, Tunisie.
- Oueslati, M. A., Ksontini, M., Haddad, M., Charbonnel, Y. 1995. Compostage des branches d'*Acacia cyanophylla* et des boues fraîches des stations d'épuration d'eaux usées. *Rev. For. Fr.* 5: 523-529.

- Senock, R. S., W. B. Sisson and G. B. Donart. 1991. Compensatory photosynthesis of *Sporobolus flexuosus* (Thurb.) Rydb. Following simulated herbivory in the northern Chihuahuan desert. *Botanical Gazette*. 152: 275-281.
- Thomson, A. J. 1987. Australian Acacias for saline, alkaline soils in the hot, dry subtropics and tropics. Pages 66-69 in *Australian Acacias in Developing Countries*. Proceedings of an international workshop held at the Forestry Training Centre, 4-7 August 1986, Gympie, Qld., Australia (J. W. Thurnbull ed.). Australia.
- Wallace, L. L., S. J. McNaughton and M. B. Coughenour. 1984. Compensatory photosynthetic responses of three African graminoids to different fertilization, watering, and clipping regimes. *Botanical Gazette*. 154: 151-156.
- Zaafouri, M. S., N. Akrimi, C. F. E. Le Floc'h and R. Pontanier. 1994. Les plantations sylvo-pastorales en Tunisie présaharienne. *Sécheresse*. 5: 265-275.

EFFET D'UN DEFICIT HYDRIQUE SUR LA SYMBIOSE TRIPARTITE ENTRE *ACACIA CYANOPHYLLA* LINDL- *RHIZOBIUM* ET UN CHAMPIGNON ENDOMYCORHIZIEN (*GLOMUS MOSSEAE*)

ABASSI M.*, DAHMANE A.** ,NASR H.*KSONTINI
M.* et REJEB M.N.*

* Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et
Forêts.

** Institut National Agronomique de Tunisie.

RESUME

Des plantules d'*Acacia cyanophylla* âgées d'une semaine ont été inoculées avec une souche efficiente de *Rhizobium*, un champignon endomycorhizien (*Glomus mosseae*) à vésicules et arbuscules et doublement inoculées avec ces deux endophytes. Une dose de 30ppm de phosphore a été ajoutée au substrat de culture. Ces plantules ont été arrosées à la capacité au champ pendant six mois. Ensuite, elles ont été partagées en 2 lots. Un premier lot a été maintenu à la capacité au champ alors que l'autre lot a été soumis à un déficit hydrique. Les paramètres écophysologiques des plantes relatifs à la conductance des stomates, la photosynthèse et la transpiration ont été mesurés chez les deux lots. Le potentiel hydrique ainsi que la teneur relative en eau ont été mesurés seulement chez les plantes soumises au stress hydrique.

Les résultats ont montré que la double inoculation d'*A. cyanophylla* avec *Rhizobium* et champignon endomycorhizien augmente nettement sa croissance par comparaison aux plantes non traitées et par comparaison à celles inoculées soit avec *Rhizobium* soit avec le champignon endomycorhizien. Cette croissance est maximale quand la plante est doublement inoculée et en présence de 30 ppm de P. La mesure des paramètres écophysologiques cités ci-dessus a montré que les traitements avec endomycorhizes présentent une activité photosynthétique, une conductance stomatique et une transpiration par unité de surface des phyllodes nettement supérieures à celles enregistrées chez le témoin non inoculé. Ces trois paramètres sont fortement corrélés quelque soit le traitement hydrique. Suite au déficit hydrique, ces paramètres ont chuté considérablement, mais les plantes endomycorhizées ont présenté une teneur relative en eau et une conductance stomatique par unité de surface foliaire significativement supérieures à celles enregistrées chez le témoin non inoculé.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la stratégie de sauvegarde des parcours, de lutte contre la désertification, de restauration des sols et de reforestation, la plantation d'arbustes fourragers en particulier *A. cyanophylla* Lindl., *Atriplex* spp, et *Medicago* spp. occupe un rôle de plus en plus important. Le choix d'espèces à usages multiples telle que *A. cyanophylla* dans ces programmes s'explique par le fait que cette espèce est à croissance rapide. Son système racinaire assez développé peut contribuer à la fixation des dunes et la lutte contre l'érosion. Grâce aux nodosités sur ses racines qui hébergent des bactéries du genre *Rhizobium* fixatrices de l'azote atmosphérique, elle peut améliorer la fertilité du sol. *A. cyanophylla* peut s'associer aussi avec des champignons endomycorhiziens qui, grâce à leurs hyphes, peuvent augmenter la nutrition minérale de la plante et particulièrement en éléments nutritifs peu mobiles dans le sol, notamment le phosphore (Nelsen et Safir, 1982). En échange, la plante-hôte fournit au champignon endomycorhizien, symbiote obligatoire, les composés photosynthétisés nécessaires à son développement. Jacobsen et Rosendahl (1990) ont trouvé que 10 à 20% du carbone photosynthétisé par la plante sont détournés par les mycorhizes pour leur fonctionnement et survie. Ces champignons peuvent conférer à la plante-hôte une meilleure tolérance à la sécheresse (Allen et Allen, 1980). Ceci se manifeste par une augmentation de la conductance des stomates (Allen et Boosalis 1983) et de la conductivité hydraulique des racines (Graham et Syversten, 1984). Aussi, le pouvoir des mycorhizes à extraire et à transmettre l'eau à la plante-hôte peut être attribué à une meilleure nutrition phosphatée et à l'extension du système racinaire par les hyphes du champignon (Dixon et al, 1980).

En milieu naturel où l'eau, l'azote et le phosphore sont généralement déficients, *A. cyanophylla* en symbiose avec *Rhizobium* et champignon endomycorhizien pourrait pallier à ces contraintes et assurer une meilleure croissance.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la double inoculation d'*A. cyanophylla* avec *Rhizobium* et champignon endomycorhizien sur sa croissance, sa nutrition minérale et son comportement écophysologique en conditions hydriques optimales ou déficientes.

Matériel et Méthodes

Des graines d'*A. cyanophylla* ont été traitées à l'acide sulfurique pur pendant 60 minutes puis elles ont été mises à germer sur de l'eau gélosée d'Agar à 6g/l. Après la germination, les plantules dont la radicule a atteint 1 à 2 cm de long ont été repiquées dans des pots contenant 5 kg de sable désinfecté. Ensuite, elles ont été soumises à 8 traitements distincts: un témoin sans inoculation (To), inoculation avec des champignons endomycorhiziens (M), inoculation avec *Rhizobium* (R), apport de 30 ppm de phosphore (P), double inoculation (RM), mycorhizes + phosphore (MP), *Rhizobium* + phosphore (RP), double inoculation et apport de 30 ppm de phosphore (RMP). Les plantules avec inoculation rhizobiale ont reçues chacune 1ml d'une suspension de la souche CI isolée de nodosités d'*A. cyanophylla* (Nasr et Diem, 1987). Pour les traitements à endomycorhize, chaque pot a reçu 20 g de substrat contenant des spores et des racines colonisées par *Glomus mosseae* à partir d'un inoculum fourni par CSIRO (Australie). Les traitements avec *Rhizobium* et endomycorhize ont reçus en même temps les deux types d'inoculum. Une fertilisation phosphatée de 30 ppm de P a été appliquée pour les traitements avec phosphore (Nasr et Diem, 1987). Les plantules de l'ensemble des traitements ont été arrosées régulièrement à la capacité au champ (CC) avec une solution nutritive de Jensen (Vincent, 1974) durant 6 mois. Au bout de cette période, les plants de chaque traitement ont été partagés en 2 lots: l'un a été maintenu à la CC et l'autre a été soumis à une contrainte hydrique par arrêt de l'arrosage (CH). Ces plants ont été répartis de manière complètement aléatoire avec 8 répétitions pour chaque traitement. Un suivi régulier de la conductance des stomates (GS), de la transpiration (E) et de la photosynthèse (PH) par unité de surface de phyllodes a été réalisé chez les traitements arrosés à la CC et chez ceux soumis au déficit hydrique (CH) à l'aide d'un analyseur de CO₂ (LCA-3). Ces mesures ont été prises sur le phyllode situé juste avant la touffe apicale, avec 3 répétitions par traitement. Pour les traitements sous déficit hydrique, la teneur relative en eau (RWC) ainsi que le potentiel hydrique des phyllodes ont été déterminés. La teneur relative en eau a été calculée selon la méthode de Stoker (1929). La mesure du potentiel hydrique foliaire a été réalisée à l'aide de la chambre à pression. Toutes ces mesures ont été prises entre 11h et 14h au maximum d'ensoleillement de la journée.

Au terme de 6 semaines de stress hydrique, toutes les plantes ont été coupées. Les racines ont été rapidement lavées à l'eau pour éliminer les particules de sable. Les nodules ont été comptés et séchés. Le poids de la matière sèche aérienne racinaire et nodulaire a été mesuré après séchage à 70°C pendant 24 heures. Puis ce matériel végétal a été finement broyé et a servi aux différents dosages chimiques.

Détermination de N, P et K.

La minéralisation a été obtenue par attaque à l'acide sulfurique pur en présence de sélénium. La distillation a été effectuée à l'aide d'un distillateur du type Büchi. L'azote total a été dosé selon la méthode Kjeldhal modifiée (Rinaudo, 1970). L'azote fixé symbiotiquement a été déterminé selon la méthode de la différence (William *et al*, 1977).

Le potassium et le phosphore ont été dosés après minéralisation nitroperchlorique. Le phosphore a été déterminé par colorimétrie en présence de nitrovanadomolybdate d'ammonium. Le potassium a été déterminé par spectrophotométrie à absorption atomique.

Identification de l'infection endomycorhizienne

La coloration des racines endomycorhizées d'*A. cyanophylla* a été réalisée selon la méthode de Phillips et Haymann (1975). Pour chaque traitement, 5 échantillons racinaires ont été colorés. Ces racines ont été ensuite coupées en segments de 1cm de long lesquels ont été déposés entre lame et lamelle. L'observation microscopique de ces fragments racinaires a servi à la détermination de la présence des hyphes, des vésicules et des arbuscules. La fréquence de l'infection endomycorhizienne est exprimée en pourcentage de racines infectées. L'intensité d'infection est déterminée à partir de la moyenne des pourcentages du volume des racines infectées.

Analyse statistique

Cette analyse a été réalisée par le logiciel SAS et la comparaison des moyennes par le test de Student, Newman et Keuls.

Résultats

Estimation de l'infection endomycorhizienne :

L'observation des racines d'*A. cyanophylla* inoculées avec le champignon endomycorhizien a révélé que cette espèce réagit favorablement à la mycorhization. Les résultats montrent une fréquence moyenne de mycorhization de 63% pour tous les traitements témoins ou stressés (Tab.1).

Tab.1 : Evaluation de l'infection endomycorhizienne de la plante.

Mycorhization	RMP		RM		MP		M		LSD*(p<0,05)
	CC	CH	CC	CH	CC	CH	CC	CH	
Intensité (%)	49.4	47.8	44.9	39.6	45.7	54.5	39.0	39.6	14.1
Fréquence (%)	66.4	66.4	69.2	56.8	64.8	62.0	61.8	63.6	20.1

* LSD : la plus petite différence significative

CC : Capacité au champ

CH : Contrainte hydrique

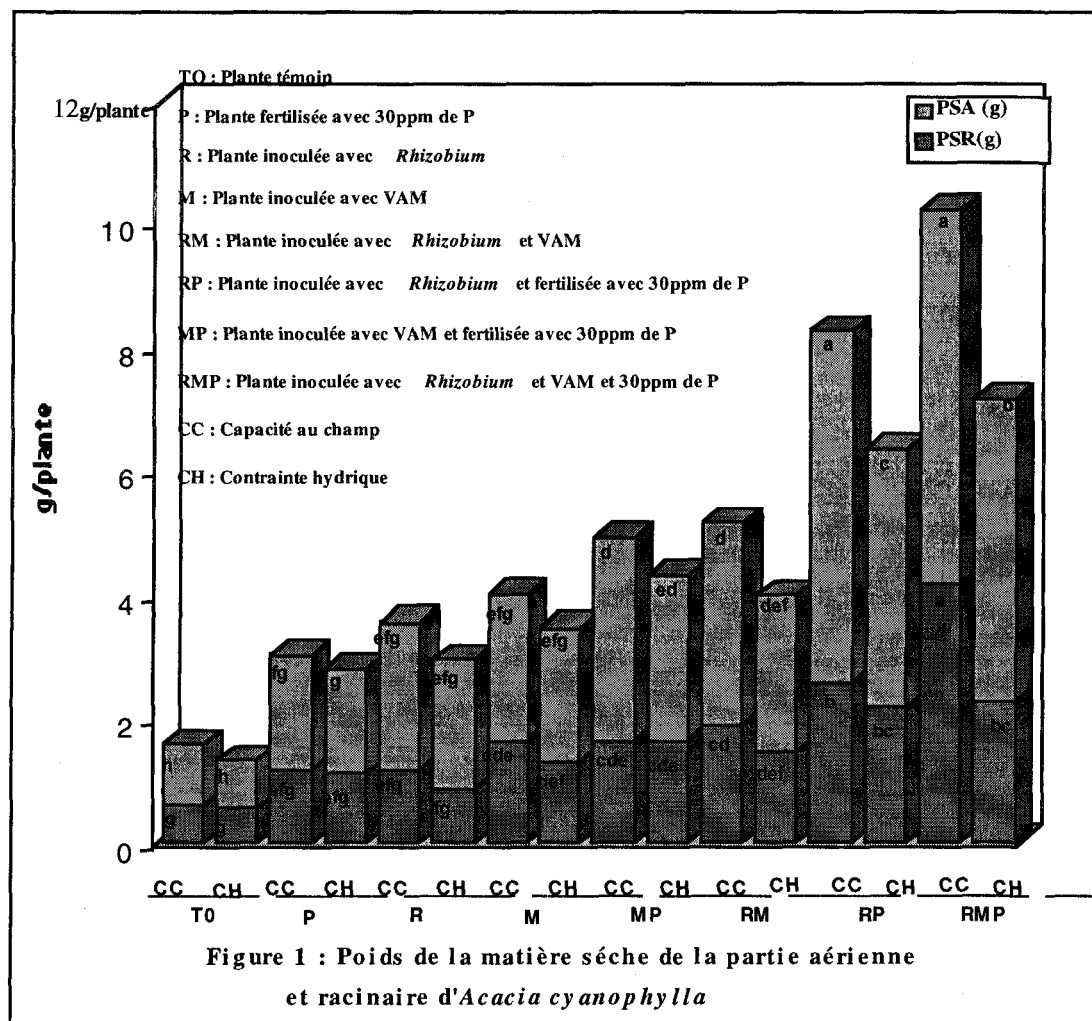
RMP : Plante inoculée avec *Rhizobium* et VAM et fertilisée avec 30 ppm de P

RM : Plante inoculée avec *Rhizobium* et VAM

MP : Plante inoculée avec VAM et fertilisée avec 30 ppm de P

M : Plante inoculée avec VAM

VAM : Mycorhizes à Vésicules et Arbuscules

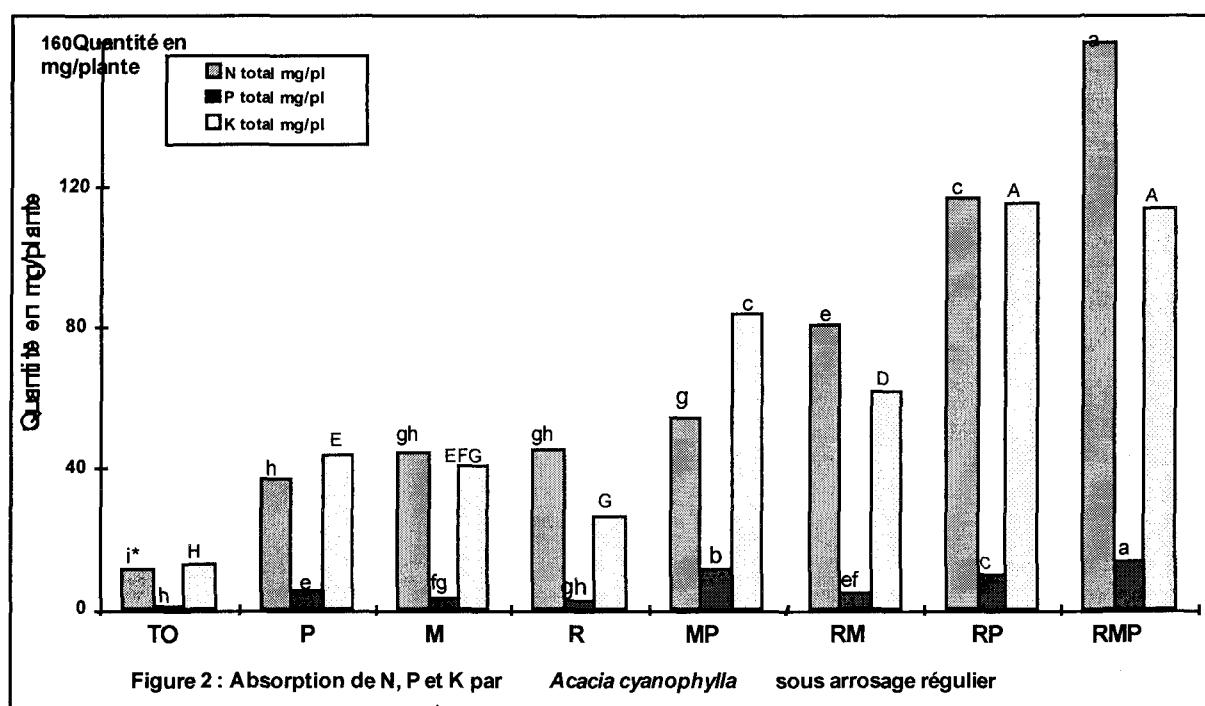


Mesure de la croissance

La double inoculation d'*A.cyanophylla* avec *Rhizobium* et le champignon endomycorhizien a augmenté significativement la croissance de la plante par comparaison au témoin ou à l'inoculation simple avec *Rhizobium* ou le champignon endomycorhizien (M) (Fig.1). Une corrélation hautement significative a été observée entre l'accroissement de biomasse de la plante et la quantité d'azote fixé ($r=0.96^{***}$, $P<0.001$) d'une part et entre le P absorbé et l'accroissement de cette biomasse d'autre part ($r=0.84^{***}$, $p<0.001$). Ces effets de l'azote et du phosphate expliquent la croissance optimale obtenue surtout quand *A. cyanophylla* est doublement inoculé et fertilisé avec une dose adéquate de P (traitement RMP). Le déficit hydrique a réduit la croissance de la plante surtout avec les traitements RMP et RP mais elle reste nettement supérieure à celle de la plante témoin ou avec inoculation simple (Fig.1)

Absorption de N, P et K

L'inoculation d'*A. cyanophylla* avec une souche efficace de *Rhizobium* a augmenté significativement l'absorption de N, puisqu'en plus de la fixation symbiotique, la plante a absorbé l'azote du sol (Fig 2). Les résultats sous arrosage régulier ont montré une augmentation progressive du poids sec des nodules, de leur nombre et de la quantité d'azote fixé en passant du traitement avec *Rhizobium*, au traitement doublement inoculé, pour atteindre un maximum quand *A. cyanophylla* est doublement inoculé en présence de P (Tab 2). On note une augmentation de 77% de la quantité d'azote fixé et de 33% du poids sec des nodules entre ce dernier traitement et celui où la plante est inoculée uniquement avec *Rhizobium*. Le déficit hydrique a induit un effet dépressif sur la nodulation et la fixation symbiotique de l'azote pour tous les traitements. Mais la quantité d'azote fixé chez *A. cyanophylla* doublement inoculé dépasse significativement celle de l'inoculation avec *Rhizobium* uniquement (Fig 3).



* Les motifs présentant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de SNK

Tab. 2 : Estimation de l'inoculation avec *Rhizobium*.

	R		RP		RM		RMP		LSD* (p=0,05)
	CC	CH	CC	CH	CC	CH	CC	CH	
Qté de N fixé (mg./plante)	33.37	25.67	69.01	54.31	104.50	89.63	148.20	119.85	9.01
Nombre de nodules	13.80	14.00	18.20	14.80	26.20	20.40	32.80	22.80	3.28
Poids sec des nodules (mg)	175	63	264	230	340	165	440	330	100.0

* LSD : la plus petite différence significative

CC : Capacité au champ

CH : Contrainte hydrique

R : Plante inoculée avec *Rhizobium*

RP : Plante inoculée avec *Rhizobium* et fertilisée avec 30 ppm de P

RM : Plante inoculée avec *Rhizobium* et VAM

RMP : Plante inoculée avec *Rhizobium* et VAM et fertilisée avec 30 ppm de P

VAM : Mycorhizes à Vésicules et Arbuscules

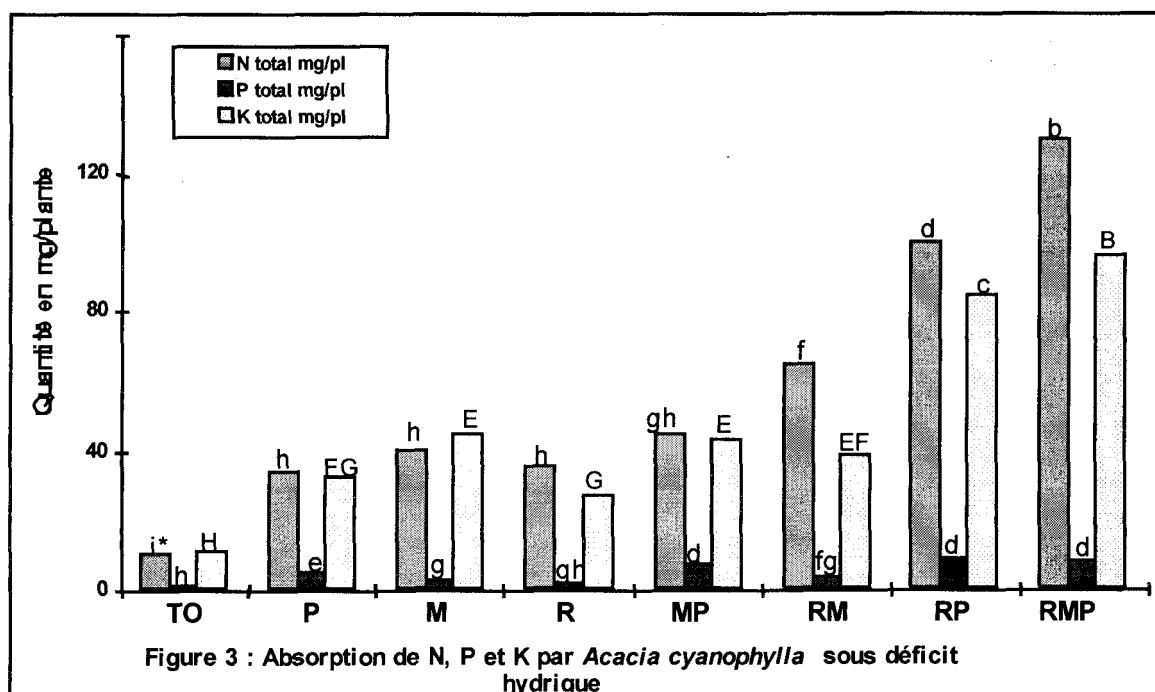


Figure 3 : Absorption de N, P et K par *Acacia cyanophylla* sous déficit hydrique

* Les motifs présentant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de SNK.

Sous arrosage optimal, l'endomycorhization a augmenté significativement l'absorption du phosphore chez *A. cyanophylla* (Fig 2). Cette absorption est optimale chez la plante endomycorhizée et avec fertilisation phosphatée (MP). Dans ce cas, l'élément P étant disponible, son transfert par le biais de l'endomycorhize vers l'hôte a été stimulé. La contrainte hydrique a diminué cette absorption pour tous les traitements, mais par comparaison au témoin celle-ci est supérieure chez les plantes endomycorhizées (Fig.3).

A. cyanophylla soumis aux différentes inoculations et sous arrosage à la CC a absorbé des quantités de K significativement supérieures à celles absorbées par le témoin (Fig 2). Cette absorption est optimale quand la plante est inoculée avec *Rhizobium* et en présence de P (RP) ou doublement inoculée en présence de P(RMP). Le déficit hydrique a réduit significativement cette absorption mais *A. cyanophylla* sous le traitement RMP absorbe des quantités de K significativement supérieures à celles enregistrées chez le traitement (RP) (Fig 3)

Analyse des paramètres écophysologiques :

Les mesures de la transpiration (E), de la photosynthèse (PH) et de la conductance des stomates (GS) par unité de surface de phyllode d'*A. cyanophylla* ont montré que ces trois fonctions sont hautement corrélées sous les deux régimes hydriques (Tab. 3).

Tab. 3 : Etude des corrélations entre transpiration (E), conductance des stomates (GS) et photosynthèse (PH) des phyllodes d'*A. cyanophylla*.

	Arrosage régulier		Déficit hydrique	
	E	PH	E	PH
GS	0,99***	0,98***	0,98***	0,98***
PH	0,99***	1	0,92***	1

Valeurs hautement corrélées*** $p < 0,001$

Les résultats ont montré que sous arrosage à la CC, les traitements avec endomycorhizes présentent une conductance stomatique significativement supérieure à celle notée chez le témoin. Ceci en est de même pour la transpiration et la photosynthèse (Fig 4). Aussi, *A. cyanophylla* endomycorhizé (M) a présenté une conductance stomatique significativement supérieure à celle enregistrée chez le traitement avec fertilisation phosphatée (traitement P) bien que pour ce traitement, la plante a absorbé plus de P (Fig. 2).

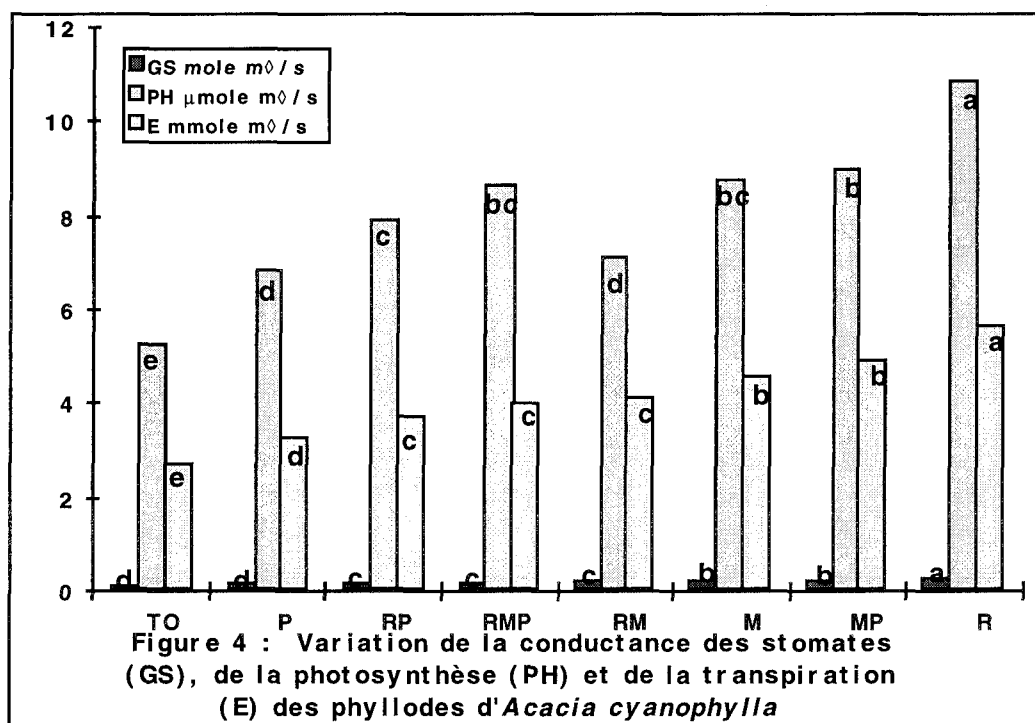
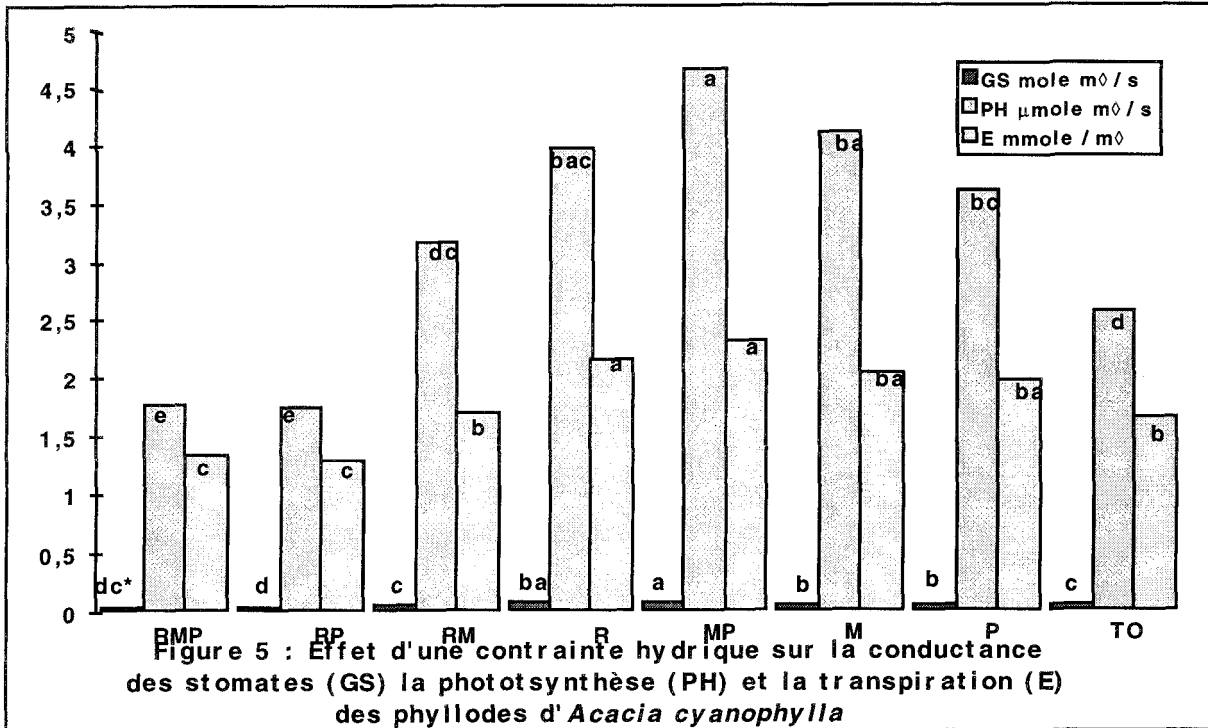


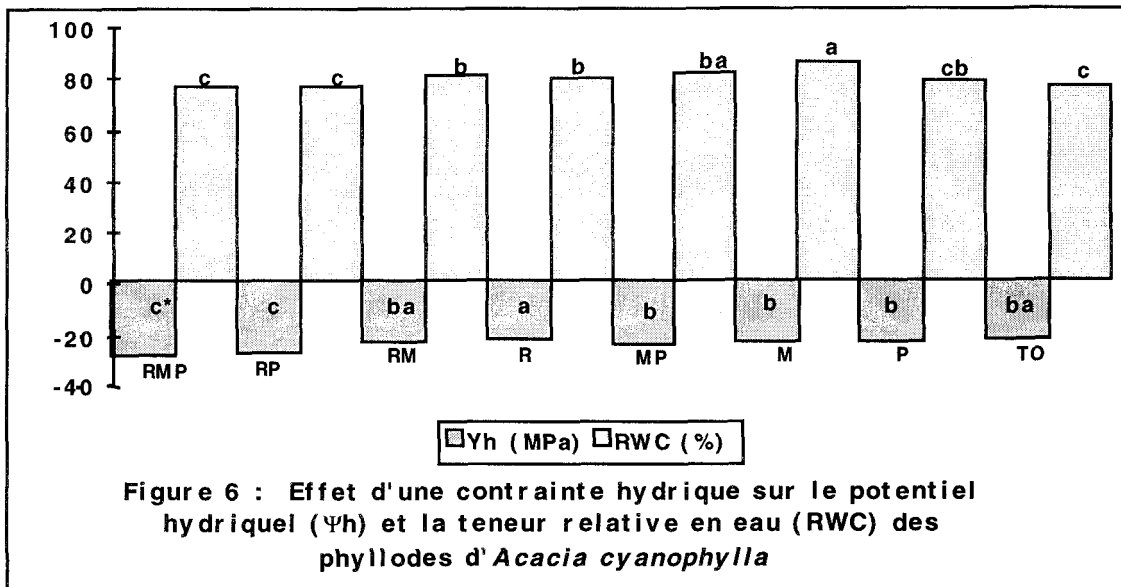
Figure 4 : Variation de la conductance des stomates (GS), de la photosynthèse (PH) et de la transpiration (E) des phyllodes d'*Acacia cyanophylla*

* Les motifs présentant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de SNK.

La contrainte hydrique a entraîné un effet dépressif sur le taux d'ouverture des stomates des plantes soumises aux différents traitements. Ceci est de même pour la transpiration et la photosynthèse. Les plantes soumises aux traitements RP et RMP ont été les plus affectées par le déficit hydrique puisque leur conductance stomatique était presque nulle (Fig. 5). Les mesures du potentiel hydrique ainsi que de la teneur relative en eau des phyllodes d'*A. cyanophylla* ont montré que le traitement avec double inoculation en présence de P (RMP) et le traitement (RP) présentaient les plus faibles valeurs de potentiel hydrique. Aussi les plantes inoculées avec le champignon endomycorhizien ou doublement inoculées et sous un même déficit hydrique présentent une teneur relative en eau au niveau de leurs phyllodes significativement supérieure à celles enregistrée chez le témoin. La plus forte teneur relative en eau a été notée chez le traitement endomycorhizé (M) (Fig 6).



* Les motifs présentant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de SNK.



* Les motifs présentant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de SNK.

Discussion

L'inoculation d'*A. cyanophylla* avec le champignon endomycorhizien a augmenté sa croissance aérienne et racinaire. Cet effet stimulateur de la croissance est dû à une meilleure nutrition phosphatée de la plante par le biais du champignon endomycorhizien (Plenchette et al., 1981). La double inoculation a stimulé encore plus la croissance de la plante hôte par rapport à l'inoculation simple puisqu'en plus de son inoculation avec une souche efficace de *Rhizobium* qui permet une fixation de l'azote atmosphérique, l'effet stimulateur de l'endomycorhize sur l'absorption de P agit aussi positivement sur la nodulation et la fixation symbiotique de l'azote (Daft et El Ghiahmi, 1974). Les résultats sous régime hydrique optimal ont montré qu'il y a une augmentation respective de 33% et de 24% du poids sec et du nombre de nodules chez *A. cyanophylla* doublement inoculé, par comparaison à

l'inoculation simple. Ces résultats confirment ceux de Manjunath et al (1984) qui ont trouvé que la double inoculation en sol déficient en P stimule la nodulation, l'infection mycorhizienne, le poids sec et l'absorption de N et P par *Leucaena leucocephala* et ceci par comparaison à l'inoculation simple. L'effet positif du phosphore sur la nodulation est très net chez *A. cyanophylla* doublement inoculé et en présence de 30 ppm de P puisqu'il y a une augmentation de 58% du nombre de nodules et de 60% de leur poids sec. La corrélation observée entre l'absorption de P, l'azote fixé et l'accroissement en biomasse de la plante explique que pour ce dernier traitement la plante a présenté une croissance optimale. D'après Munns (1979), le phosphore en augmentant la croissance, agit directement sur le nombre et le poids sec des nodules. Pour *Phaseolis vulgaris* fertilisé avec P, l'augmentation du poids des nodules est étroitement liée à l'augmentation de la croissance de la plante (Graham et Rosas, 1979).

Par comparaison à l'arrosage régulier, le déficit hydrique a réduit de manière significative la nodulation et la fixation symbiotique de l'azote. La sensibilité de la fixation symbiotique de l'azote à ce déficit est généralement liée à la baisse de la perméabilité des nodules à l'oxygène (Pankhurst et Sprent, 1975) ou à une chute de l'approvisionnement des nodules en photosynthétats suite au stress subit par la partie aérienne de la plante (Huang et al., 1975). Cependant, *A. cyanophylla* doublement inoculé a gardé un système fixateur efficace qui s'explique par l'effet stimulateur du champignon endomycorhizien sur la nutrition en P de la plante hôte. Sous conditions hydriques déficientes, *A. cyanophylla* doublement inoculé et en présence de P (RMP) a fixé plus d'azote que son témoin non endomycorhizé (RP) bien que les quantités de P absorbées par la plante sous ces deux traitements soient les mêmes. Il semble que la fixation symbiotique de l'azote soit améliorée plutôt par la plus forte absorption du K chez le traitement RMP. En effet cet élément intervient au niveau du statut hydrique de la plante (Mengel, 1984) et a un effet favorable sur la fixation symbiotique de l'azote. Guckert et La Perrière (1987) ont noté que le potassium permet au trèfle blanc de maintenir un système fixateur encore efficace malgré un déficit hydrique sévère.

La contrainte hydrique a induit un effet dépressif sur la croissance d'*A. cyanophylla* surtout pour le traitement doublement inoculé en présence de P (RMP) et de son témoin non endomycorhizé (RP). Le déficit hydrique appliqué dans ces cas était assez sévère (-2.8 Mpa). D'après les travaux de Albouchi (1985), *A. cyanophylla* subissant un arrêt d'arrosage ferme totalement ses stomates à -2.7 MPa. Sous cette contrainte et pour ces deux traitements la plante a présenté un même poids racinaire mais une croissance de la partie aérienne significativement supérieure a été notée chez le traitement (RMP). Ceci met en évidence l'effet de compétition typique pour les photosynthétats entre le champignon endomycorhizien et la plante qui favorise l'augmentation de la croissance aérienne au dépens de celle des racines chez les plantes mycorhizées (Berta et al., 1990).

La mesure de certains mécanismes écophysologiques sous arrosage à la CC et notamment la conductance des stomates, la photosynthèse et la transpiration chez *A. cyanophylla* endomycorhizé a mis en évidence l'effet positif de ce champignon sur ces mécanismes. Les réactions de la plante pourraient être dues à une meilleure nutrition phosphorée de la plante due à l'endomycorhize (Graham et Syvertsen, 1984) ou à une action directe de ce champignon (Pacovsky et al., 1986). En effet, pour compenser la demande supplémentaire en substances carbonées nécessaires au champignon qui est un symbiote obligatoire, la plante-hôte augmente sa photosynthèse (Allen et al., 1981).

La contrainte hydrique a entraîné un effet dépressif sur la conductance des stomates chez tous les traitements. Cependant les mycorhizes semblent attribuer à la plante-hôte une plus grande tolérance à la sécheresse vu qu'*A. cyanophylla* endomycorhizé et sous un même niveau de stress hydrique a présenté une conductance stomatique et une teneur relative en eau au niveau de ses phyllodes supérieures à celles enregistrées chez le témoin. Ceci peut s'expliquer par le pouvoir des hyphes extraracinaires du champignon à augmenter la surface d'absorption de la plante-hôte (Hardie et Leyon, 1981).

Cette étude a révélé que l'endomycorhize a stimulé l'absorption de K sous déficit hydrique. Ceci est d'un intérêt certain car le potassium permet à la plante de mieux résister à la sécheresse surtout qu'il intervient directement dans les mécanismes d'ajustement osmotique (Humble et Roschke, 1971) en augmentant la résistance stomatique de la plante (Brag, 1972). Aussi, l'infection endomycorhizienne en augmentant la concentration en K et P au niveau des tissus de l'hôte peut induire une diminution de la résistance des stomates au transport de l'eau (Harley et Smith, 1983).

Conclusion

La double inoculation d'*A. cyanophylla* avec une souche efficace de *Rhizobium* et un champignon endomycorhizien stimule nettement sa croissance. Le champignon endomycorhizien a augmenté la nutrition minérale de la plante-hôte notamment en P et en K lui permettant ainsi de mieux supporter le déficit hydrique. Vu l'importance de cette symbiose tripartite entre l'hôte et ses deux endophytes, il serait intéressant d'inoculer les légumineuses ligneuses avec ces deux microsymbiotes.

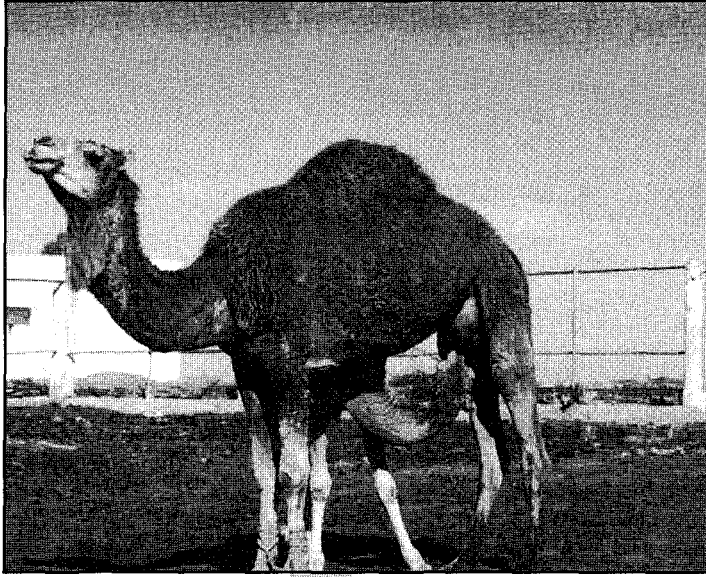
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Albouchi, A., 1985 : Etude des caractéristiques hydriques des phylloides d'*A.cyanophylla* L. compartimentation de l'eau et adaptations phénotypiques à la sécheresse D.E.A. Univ. Tunis, 133 p.
- Allen, E.B. and Allen, M.F., 1980 : Natural re-establishment of vesicular-arbuscular mycorrhizae following stripmine reclamation in Wyoming. *Journal of Applied Ecology*, 17, 139-147.
- Allen, M.F. and Bossalis M.G. 1983 : Effects of two species of VA mycorrhizal fungi : on drought tolerance of winter wheat. *New Phytol.* 93, 67-76.
- Allen, M.F., Sexton, J.C., Moone, T.S. and Christensen, M., 1981 : The influence of phosphate source on vesicular-arbuscular mycorrhizae of *Bouteloua gracilis*. *New Phytol.* 87, 687-694.
- Berta, G., Fusconi, A., Trotta and Scannerini, S., 1990 : Morphogenetic modifications induced by the mycorrhizal fungus *Glomus* Strain E3 in root system of *Allium porum* L. *New Phytol.* 114, 207-215.
- Brag, H., 1972 : The influence of potassium on the transpiration rate and stomatal opening in *Triticum aestivum* and *Pisum sativum*. *Physiol Plant* 26, 250-257.
- Daft, M.J. and El. Ghiahmi, A.A., 1974 : Plant Growth Responses to vesicular-arbuscular Mycorrhiza, VII, Influence of infection on the growth and nodulation in French bean (*Phaseolus vulgaris*) *New Phytol*, 73, 1139-1147.
- Dixon, R.K., Wrhight, G.M., Behrns, G.T., Teskey, R.D. and Hinchley, J.M., 1980 : Water deficit and root growth of ectomycorrhizal white oak seedlings *Canadian Journal of Forest Research* 10, 545-548.
- Graham, J.H. and Rosas J.C., 1979 : *Agron J.* 71.925-926.
- Graham J.H. and Syversten J.P. 1984 : Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstocks. *New Phytol.* 97, 277-284.
- Gukert, A., Laperrière C., 1987 : Effet du stress hydrique sur la fixation d'azote par le trèfle blanc (*Trifolium repens* L.). *Les Coll de l'INRA*, 37, 345- 350.
- Harley, J. and Smith, S.E., 1983 : *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press.London.
- Hardie, K. and Leyton L., 1981 : The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relation of red clover. I. In phosphate deficient soil. *New Phytol* 89, 599-608.
- Huang, C.Y., Boyer J.S. and Vanderhoef L.N., 1975 : Limitation of acetylene reduction (nitrogen fixation) by photosynthesis in soybean having low water potentials. *Pl. Physiol. Lancaster*, 56, 228-232.
- Humble, G.D., Reschke K., 1971 : Stomatal opening quantitatively related to potassium transport. *Plant. Physiol* 48, 447-453.
- Jakobsen, I. and Rosendahl L., 1990 : Carbon flow in to soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytol.* 115, 77-83.
- Manjunath A., Bagyaraj, D.J. and Gowda, H.S.G., 1984 : Dual inoculation with VA mycorrhiza and *Rhizobium* is beneficial to leucaena. *Plant. Soil*, 78 : 445-448.
- Mengel, K. 1984 : Le potassium en physiologie végétale *C.R. Acad. Agric. Fr* 70, 1365-1376.
- Munns, D.N., 1977 : Mineral nutrition and the legume symbiosis. In : *A treatise on Dinitrogen Fixation, Section IV Agronomy and Ecology* (Ed. RWF. Hardy and A.H. Gibson) (John wiley and Sons : New York).
- Nasr, H. et Diem, H., 1987 : Effet de l'endomycorhization vesiculo-arbusculaire sur la croissance et la fixation biologique de l'azote par *Acacia cyanophylla* (Lindl). Actes du séminaire des arbres fixateurs de l'azote. L'amélioration biologique de la fertilité du sol. Dakar (Sénégal), p. 232-242, Eds. ORSTOM, Paris.
- Nelsen E. and Safir G.R. 1982 : Increased drought tolerance of mycorrhizal onion plants caused by improved phosphorus nutrition. *planta*, 154, 407-413.
- Pacovsky, R.S., Bethlenvalvay, G.J. and Plant, E.A., 1986 : Comparisons between P. fertilized and mycorrhizal plants. *Crop. Science*, 26, 151-156.
- Pankhurst, C.E. and Sprent, J.I., 1976 : Effects of temperature and oxygen tension on the nitrogenase and respiratory activities of turgid and water stressed soybean and French bean root nodules. *J. exp. Bot.*, 27, 191-195.
- Phillips, J.M. and Hayman, D.A., 1970 : Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British mycological Society.* 55, 158-161.
- Plenchette C., Furlan V., Fortin J.A., 1981 : Growth stimulation of apple trees in unsterilized soil under field conditions with V.A. mycorrhizal inoculation. *Can. J. Bot.*, 59, 2003-2008.

- Rinaudo, G., 1970 : Fixation biologique de l'azote dans trois types de sols de rizières de Côte d'Ivoire. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Montpellier.
- Stoker O., 1929 : Eine Feld methode zin bestiminug der momentanen transpirations und evaporationgrosse. Ber Deutsh Bot Ges., 47-126 p.
- Vincent, J.M., 1970: Nature and basis properties of the *Rhizobiza* « Nitrogen fixation in legumes » (J.M. Vincent eds), Academic Press, Austria, 5-11.
- William, W.A., Jones, M.B. and Delwiche, C.C., 1977 : N₂ fixation measurement by total N difference and ¹⁵N A-value in lysimeters. Agron. J. 69, 1023-1024.

Remerciements

Cette étude a été soutenue par un financement du centre de Recherches pour le Développement International (CRDI), Canada, dans le cadre du projet 3-P89-1016 sur « les Symbioses Racinaires de l'Acacia ». Les auteurs remercient Mm Salwa REJEB pour avoir réalisé les dosages chimiques, Mr. T. SGHAIER pour les analyses statistiques et Dr. G. BOWEN pour ses conseils scientifiques.



SESSION 5 :

ELEVAGE

Etude du comportement alimentaire et des performances des ovins et des caprins conduits en troupeau mixte sur parcours du semi-aride supérieur (A. Mejdoub, A. Bouazizi, S. Zaichi)..... 347

L'amélioration génétique des caprins par le croisement d'absorption dans les oasis du sud tunisien. (S. Najari, T. Khorchani, M. Hammadi, A. Ben Saad, A. Ben Belgacem, B. Fatnassi, M. Dhaoui)..... 357

Evaluation des résultats du croisement de la chèvre locale dans le sud tunisien : (S. Najari, A. Belgacem)..... 363

Sauvegarde du dromadaire et amélioration de sa productivité : Bilan des principales recherches menées à l'Institut des Régions Arides de Médenine (T. Khorchani, M. Ismail, M. Hammadi, M. Moslah, M. Chemmem)..... 368

Les ajustements métaboliques du dromadaire au cours du stress thermique et la déshydratation (A. Guerouali, N. Sbai)..... 377

**ETUDE DU COMPORTEMENT ALIMENTAIRE ET DES
PERFORMANCES DES OVINS ET DES CAPRINS CONDUITS
EN TROUPEAU MIXTE SUR PARCOURS
DU SEMI-ARIDE SUPERIEUR.
I. RELATION PLANTE-ANIMAL ET
PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES**

A. MAJDOUB *, A. BOUAZIZI * et S. ZAICHI **

*Institut National Agronomique de Tunisie

43 Avenue Charles Nicole Tunis Mahrajène 1082 Fax 799 391

** Office de développement sylvo pastoral du nord ouest Béja

RESUME

Cet essai a été réalisé durant 3 années successives (1993, 1994 et 1995) sur un parcours herbacé, à base de graminées pérennes (*Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Phalaris bulbosa* et *Cynodon dactylon*), de graminées annuelles (*Hordeum murinum*, *Bromus mollis*, *Bromus madritensis* et *Brachyodium distachium*), de légumineuses (*Medicago ciliaris*, *Medicago hispida*, *Medicago scutellata*, *Trifolium angustifolium* et *Hedysarum coronarium*.) et d'environ un tiers d'autres espèces herbacées de différentes familles et de différents types biologiques (Bouazizi et al., 1995).

Ce périmètre est situé sur le flanc nord des massifs prolongeant le Djebel Guerrouaou vers le nord du Djebel Langaâ, au Djbel Sioud, dans l'étage bioclimatique du semi-aride supérieur à hiver tempéré.

Un troupeau mixte composé en moyenne de 20 brebis de race noire de Thibar suivies de 6 jeunes ovins et de 10 chèvres locales suivies de 8 jeunes chevreaux sur une superficie moyenne de 4 ha utilisée selon un dispositif en split-plot avec l'espèce animale et l'année comme facteurs principaux et la période de pâturage comme facteur secondaire. La durée de pâturage a porté sur 2 mois et demi du 5 avril au 20 juin.

La production moyenne de matière sèche / ha a été influencée par l'année (1366, 691 et 1050 kg de matière sèche/ha pour les années 93, 94 et 95 respectivement).

La contribution des graminées pérennes, des graminées annuelles et des légumineuses à la composition botanique de la végétation sur parcours, a été aussi influencée par l'année.

Les temps de pâturage et de déplacement ont été significativement influencés par l'espèce animale (317 min et 96 min pour les ovins vs 290 min et 136 min pour les caprins respectivement). Par contre les temps moyens de repos sont significativement les mêmes pour les deux espèces animales (65 min et 52 min respectivement). Les rations prélevées par les caprins sont significativement plus riches en graminées pérennes et plus pauvres en légumineuses que celles prélevées par les ovins (54.36 % et 11.17 % vs 43.88 et 24.27 % pour les caprins et les ovins respectivement). Ces différences sont plus marquées en début qu'en fin de saison.

Les ovins ont consommé en moyenne plus de matière sèche que les caprins (33.1g / kg de P.V. pour les ovins contre 30.13 g / kg de P.V. pour les caprins).

Le CUD des rations prélevées mesurés in vivo aussi bien que les gains moyens quotidiens ont été significativement les mêmes pour les deux espèces (56.64% et 79.1g / ani. /j pour les ovins et 57.94% et 63.3g / ani. / j).

SUMMARY

The study was carried out over a period of 3-successive years (1993, 1994, 1995) on a herbaceous rangeland vegetation Major perennial were *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Phalaris bulbosa* et *Cynodon dactylon*. Annual grasses were mainly presented by *Hordeum murinum*, *Bromus mollis*, *Bromus madritensis* et *Brachyodium distachium*. Legumes were dominated by *Medicago ciliaris*, *Medicago hispida*, *Medicago scutellata*, *Trifolium angustifolium* et *Hedysarum coronarium*. Many other herbaceous species are present and contribute almost by one third to the available biomass (Bouazizi et al., 1995). The area is located in the northern side of the massifs prolonging the Djebel Guerrouaou toward the north of the Djebel Lngaa to Djebel Sioud in the upper semi arid bioclimatic region with temperate winters.

On the average 20 lactating adult dams with 8 suckling kids, grazed a 4-ha paddock. The experience was run as a split-plot design. Animal species and year was designated as main plot and grazing period (within the season) as subplot. The grazing season extended from April the 5 th to June the 22 nd.

- Mean annual aboveground biomass varied from year to year (1366,691 and 1050 kg dry matter/ha for 1993, 1994 and 1995 respectively).
 - Perennial grasses, annual grasses and legumes contribution to the available aboveground biomass was significantly affected by the year of grazing.
 - Sheep spent more time grazing, while goats devoted deliberately more time searching for feed (317 min and 96 min for sheep vs 290 min and 136 min for goats respectively). Inversely both species spent relatively similar time for resting (65 min and 52 min respectively). Goats showed higher preference for perennial grasses while sheep ingested more legumes (54.36 % and 11.17 % VS 43,88 % and 24.27 % for goats and sheep respectively). These differences are markedly higher in the early grazing season.
 - Sheep ingested significantly more dry matter than goats (33.1g/kg liveweight/day vs 30.13 g/kg liveweight/day).
 - Both species selected diets with similar in vivo dry matter digestibility and gained relatively the same daily liveweight (65.64% and 79.1 g/day/animal for sheep vs 57.94 % and 63.3 g/day/animal for goats).
- Key words** : biomass, botanical composition, diet selection, grazing behaviour, intake, performances.

INTRODUCTION

Généralement il est reconnu que la sélection des espèces pastorales varie avec le type de l'animal (Arnold 1980 et Holechek et al., 1989). En effet le pâturage mixte permet une meilleure distribution de la pression de pâturage sur les différentes espèces ou catégories espèces végétales (Migongo-Bake, 1986 Holechek et al., 1989 et Norton et al, 1990). Ainsi l'utilisation de la végétation est plus efficace et la production animale est plus élevée (Nolan, 1977 et Conolly 1977).

L'utilisation des parcours herbacés du semi-aride supérieur de la région de Béja Sud par des ovins et des caprins pâturant ensemble est une pratique courante. Cependant les études sur l'entretien de ces espaces par ce mode de gestion sont actuellement peu disponibles. C'est dans ce cadre que le présent travail a été entamé et se fixe comme objectifs de préciser les aptitudes alimentaires de ces deux espèces, le degré de complémentarité ou de concurrence et la productivité en résultant. Ceci permettra de mieux valoriser la végétation de ces types de parcours.

Matériels et méthodes

Dispositif expérimental

L'étude a porté sur deux espèces animales (ovine et caprine) pâturant ensembles durant 3 années successives 1, 2 et 3 (1993, 1994 et 1995 respectivement), et pour une durée de 75 jours par saison de pâturage (5 avril - 20 juin). Chaque saison (5 avril-20juin) est divisée en 3 périodes de pâturages principales. Ces périodes (1, 2 et 3), correspondent aux 10-16 avril, 10-16 mai et 10-16 juin. Le nombre moyen d'animaux / 4 ha de parcours pour 3 répétitions et 3 années de pâturage est de 19.33 brebis de race Noire de Thibar suitées de 6 agneaux (d'un poids moyens 44.79 \pm 0.79 et 14.16 \pm 1.02 kg / animal) et 10 chèvres adultes suitées de 8 chevreaux (d'un poids moyens 29.89 \pm et 11.14 \pm 1.13 kg / animal).

Etude de la végétation

Afin de suivre l'évolution de la végétation, des relevés systématiques de la flore ont été réalisés périodiquement au début de chaque période de mesure du comportement alimentaire des animaux et à la clôture de la saison de pâturage selon la méthode linéaire (Daget et Poissonet, 1971).

Compte tenu du degré d'hétérogénéité, de la densité de la végétation, 10 lignes permanentes / ha de 10 m chacune ont été choisies. Les extrémités sont indiquées par des piquets de fer servant ainsi de repère à chaque période de mesure. Les relevés sont effectués sur des segments de 10 cm et la contribution spécifique présence est ainsi déterminée. Elle est en relation avec la contribution botanique des différentes espèces, et elle est déterminée par le rapport entre le nombre de présence de l'espèce et le nombre des présences de toutes les espèces rencontrées dans le relevé.

La production totale en herbe de chaque parcelle est estimée à travers la fauche d'une vingtaine de m² / ha / période durant toute la période de l'étude et en même temps les mesures d'inventaire de la végétation sont aussi effectuées en même temps.

Etude du comportement alimentaire

L'étude du comportement alimentaire présente deux aspects, l'étude du rythme d'activité et celle du régime alimentaire.

Aussi pour étudier le rythme d'activité un observateur note les principales activités des animaux (pâturage, repos et déplacement) pendant une à deux minutes toutes les 10 minutes (Petit, 1969; Favre, 1972 ; Hatfield et al., 1990). Cependant pour déterminer la nature du régime alimentaire la méthode d'approche est basée sur

l'observation directe de 3 animaux focaux, numérotés au hasard (de 1 à 3) et qui sont considérés comme des animaux échantillonneurs (Grieco, 1977; Lecrivain, 1978) et ceci pour les trois périodes de mesures. Chaque animal est observé pour un temps de 10 minutes toutes les 15 minutes en changeant d'animal à chaque relevé, ceci pendant 8 heures de pâturage afin de gommer les variabilités dues à l'animal ou à l'heure de pâturage (Leclair, 1981). Ainsi au cours d'une même journée les animaux effectuent un circuit qui les amène à des faciès végétaux variés (Bourbouze, 1980). L'évolution du rythme d'activité permettra d'extrapoler correctement à l'ensemble du troupeau le résultat de chaque relevé de comptage de coup de dents par espèce et sa durée de consommation (Bourbouze, 1980 ; Meuret et al., 1985).

Après une observation attentive du mode de prélèvement effectué par les animaux sur chaque espèce, l'expérimentateur simule une centaine de coups de dents (CD) par pinçage "hand clipping" pour déterminer le poids de CD/espèce végétale (Cook, 1963). Ainsi la composition botanique de la ration est déterminée.

Ingestibilité

La quantité de matière sèche ingérée (MSI) par animal en activité est donnée par la relation suivante (Meuret et al., 1985):

$$M.S.I = \frac{D.P}{R} \times \sum (CDi \times PCi)$$

ou

D.P = Durée de pâturage.

R = Durée des relevés.

CDi = Nombre de CD portés sur l'espèce i.

PCi = Poids du CD pour l'espèce i.

Durant chaque période d'étude du comportement alimentaire, un échantillon représentatif de la composition botanique de la ration ingérée sur parcours et pour chaque animal échantillonneur est composé manuellement pour des analyses chimiques ultérieures.

Digestibilité

Les mesures de la digestibilité sont effectuées sur parcours; les mêmes animaux échantillonneurs ont porté des sacs de ruban dur munis de ceintures pour une collection totale pour 7 jours par période. La digestibilité de la ration est donnée par la relation suivante :

$$D = \frac{I - F}{I} \times 100$$

Performance

Les performances animales sont mesurées par des pesées à des intervalles réguliers de 15 jours pour tous les animaux de chaque lot, à jeûne avant le départ au pâturage.

Analyse statistique

Un modèle en split-plot a été utilisé pour analyser les données collectées. La charge et l'année constituent les facteurs principaux et la période comme facteur secondaire.

Pour comparer l'effet espèces animales au sein de chaque période de pâturage, on a utilisé un modèle avec des mesures répétées et la méthode des moyennes des moindres carrés (least square means) pour la séparation des moyennes des espèces au sein de chaque période de pâturage. Tous les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du SAS (1985)

Résultats et discussion

Phytomasse aérienne et composition botanique de la végétation sur parcours

La production moyenne en matière sèche (MS) a significativement ($P < 0.05$) fluctué d'une année à l'autre (1366, 691 et 1050 pour les années 1, 2 et 3 respectivement). Cette fluctuation est attribuée à la variation des quantités de pluie au cours des années étudiées. Cette variation va se traduire par des différences au niveau des performances animales qui seront présentées ultérieurement.

Il se dégage des résultats du tableau 1 que la contribution des graminées pérennes à la composition botanique de la végétation sur parcours varie significativement en fonction de l'année, en d'autre terme en fonction des conditions climatiques. En effet les conditions prévalantes au cours des 3 années de l'étude à plutôt favorisé la contribution des graminées annuelles au cours des Années 1994 et 1995 et celles des légumineuses pour l'année 94/95. Cependant au cours des 3 années de l'étude la contribution moyenne des autres herbacées est la plus homogène avec un degré de variation égal à 6.1 points par comparaison aux graminées pérennes qui ont enregistré une fluctuation de 8.06 points. Ceci illustre bien la grande compétitivité concurrentielle possédée par

ces deux groupes végétatifs. Par contre les graminées annuelles et les légumineuses ont enregistré pour la même période les variations les plus élevées (14 points environ pour chacun des deux groupes).

Il se dégage ainsi de ces résultats que les espèces pérennes (graminées pérennes et plusieurs espèces du groupe appelé autres herbacées) assurent une meilleure stabilité au niveau du couvert végétal. Par contre les espèces annuelles améliorent la production herbacée totale. Ces résultats concordent avec ceux déjà rapportés par Stoddart et al, (1975) et Harrington et al., (1985).

Etude comparée du comportement alimentaire des ovins et des caprins conduits en troupeau mixte.

Les résultats du comportement alimentaire des ovins et des caprins conduits en troupeau mixte sur parcours résumés au tableau 2, indiquent que le temps de pâturage représente à tout moment de la durée de l'étude l'activité principale pour les deux espèces. Cependant il se dégage que les ovins ont passé plus de temps à pâturer (317 min vs 291 min) et moins de temps à se déplacer (96 min vs 136 min). Les résultats précités concordent avec ceux rapportés par Huston (1978) et Oliveira, (1987). Le temps global de pâturage se trouve aussi en accord avec les résultats de Saadani, (1988) qui a rapporté une durée moyenne de 4 à 6 heures par jour

L'interaction significative ($P < 0.05$) entre les facteurs périodes de pâturage et année pour le temps de pâturage et entre les facteurs espèce, année et période pour les temps de déplacement illustre l'existence d'une fluctuation annuelle et périodique des conditions de pâturage durant la même saison. Ces fluctuations montrent que les deux espèces animales optent pour un changement différent de stratégie alimentaire en fonction des conditions rencontrées sur parcours. Cette différence inter-espèce confirme aussi les résultats rapportés par Bourbouze (1991). En effet ce dernier a indiqué que les temps de pâturage varient dans de grandes proportions d'une espèce animale à une autre en fonction du site pastoral. Ceci montre bien l'adaptabilité de ces deux espèces animales aux conditions difficiles de pâturage. En effet cette modification de comportement et cette adaptabilité aux conditions difficiles de pâturage a été aussi remarquée par Derkaoui, (1977) pour des ovins et des caprins, Rouaissi et Majdoub, (1985) pour des caprins, El Aich, (1990) pour des ovins et Majdoub et Bouazizi, (1995) pour des ovins.

Les animaux des deux espèces ont cependant consacré relativement le même temps ($P > 0.05$) au repos (65.66 min pour les ovins vs 49.23 min pour les caprins). L'augmentation ($P < 0.05$) du temps alloué pour le repos avec l'avancement de la saison peut être partiellement attribuée au changement de la température environnante (Bourbouze, 1991). En outre il est à noter qu'au cours de la deuxième année caractérisée par de faibles disponibilités alimentaires, les animaux des deux groupes d'espèces ont enregistré les temps de repos et de pâturage les plus courts et le maximum de temps de déplacement par comparaison au deux autres Années. Ce comportement alimentaire relatif aux périodes défavorables de pâturage se trouve principalement lié aux disponibilités quantitative et qualitative de l'herbe et se traduit par un coût énergétique d'entretien plus élevé, plus particulièrement pour les caprins qui ont réalisé le plus de déplacement. En effet Sahlu et al., (1989) utilisant la technique du dioxyde de carbone ont démontré que le coût énergétique a dépassé de 1.5 à 2.5 celui recommandé par l'NRC (1981) et ceci pour le début et la fin de saison de pâturage respectivement, pour des ovins sur parcours. D'autre part Oliveira (1987) a rapporté que la dépense énergétique totale a été plus élevée pour les caprins que pour les ovins (127 Kcal / kg^{0.75} vs 88 Kcal / kg^{0.75}).

Ceci montre bien que les études bioénergétiques liées au pâturage et tenant compte de l'effet espèce animale seraient indispensables pour développer un modèle rationnel de conduite sur parcours.

Composition botanique des rations sélectionnées par les ovins et les caprins

Les résultats des tableaux 3 et 4 montrent une interaction significative ($P < 0.05$) entre les deux facteurs espèces x année) et (année x période) relative à la contribution des graminées pérennes et entre les facteurs (période x année) relative à la contribution des légumineuses. Ceci confirme bien les fluctuations quantitatives et qualitatives des disponibilités fourragères. Ces interactions illustrent aussi la réaction différente des animaux des deux espèces vis à vis de ces fluctuations. En outre deux années sur trois ces graminées pérennes sont plus recherchées par les caprins que par les ovins. En effet au cours des deux premières périodes les graminées pérennes (tableau 5) ont contribué différemment ($P < 0.05$) aux rations prélevées par les caprins qu'à celles prélevées par les ovins. Cependant cette différence disparaît au cours de la dernière période, alors qu'en moyenne leur contribution aux rations reste plus élevée ($P < 0.05$) pour les caprins que pour les ovins. Ce phénomène montre bien que ce groupe d'espèces végétales est recherché concurrentiellement par les ovins et les caprins à la fin de la saison. (Tableau 5)

Quant aux légumineuses, elles présentent une contribution annuelle aux rations prélevées qui reflètent leur disponibilité sur parcours. Cependant il se dégage des résultats du tableau 6 que leur contribution au cours des deux premières périodes de pâturage aussi bien que celle pour toute la période de pâturage se trouvent beaucoup plus importante ($P < 0.05$) pour les ovins que pour les caprins (24.27 vs 11.78). Ceci illustre encore une fois, comme pour les graminées pérennes, l'existence d'une concurrence entre les deux espèces animales pour ce type de végétation à la fin de la saison de pâturage.

Il est à noter que l'utilisation des autres herbacées par les animaux augmente avec l'avancement de la saison de pâturage. Cependant cette augmentation est beaucoup plus prononcée au cours de la troisième période de la saison de pâturage. En effet la contribution moyenne aux rations prélevées se trouve presque multipliée par deux vers la fin de la saison pastorale. Ceci montre que ce groupe constitue toujours pour les deux espèces animales un substitut aux deux groupes végétaux précédents qui voient leur contribution diminuer avec la détérioration des conditions pastorales. Ceci confirme bien les résultats trouvés par Majdoub et Bouazizi, (1995) pour des ovins soumis à différents niveaux de charge.

Les graminées annuelles formant le dernier groupe végétal se trouvent très faiblement consommées par les ovins uniquement, surtout au cours de la dernière période de pâturage. Ceci pourrait être dû à leur dessèchement et à la rigidité de leur forme comme c'est déjà indiqué par Majdoub et Bouazizi (1995) et Bouazizi et al., (1995). Ainsi les précédents résultats montrent que les ovins aussi bien que les caprins ont adapté leur stratégie d'affouragement en fonction de la période de l'année de pâturage. Ceci concorde avec les résultats rapportés par Narjisse et El Bare (1984) et Nastis (1990). En effet les ovins ont orienté leur sélectivité vers les légumineuses alors que les caprins ont manifesté une préférence alimentaire pour les graminées pérennes. Ce comportement illustre bien les aptitudes alimentaires complémentaires des deux espèces en début de saison. Cependant les deux espèces deviennent concurrentielles suite à la faible disponibilité fourragère au cours de la dernière période de la saison pastorale. Ceci confirme les résultats déjà avancés par Hughes et al., (1984) qui ont rapporté que les ovins ont sélectionné une ration plus riche en trèfle alors que les bovins et les caprins ont sélectionné une ration plus riche en ray-grass. Ces résultats concordent aussi avec ceux déjà rapportés par Declarke et al., (1982) et Collins et Nicol (1986) pour un troupeau mixte ovin caprin sur des parcours tempérés à base de trifolium ssp. et de graminées pérennes. Par contre il diffère de ceux indiqués par Norton et al., (1990) qui ont trouvé que les ovins ont sélectionné une ration plus riche en graminées par opposition aux caprins qui ont consommé une ration plus riche en légumineuses (70.4 et 32.8 vs 10.8 et 55.8 pour les graminées pérennes et les légumineuses respectivement). Ces auteurs attribuent un tel comportement au fait que les ovins préfèrent pâturer les couches les plus basses alors que les caprins cherchent les couches les plus élevées qui se trouvent favorisées par une distribution verticale du couvert végétal et où les légumineuses forment la couche supérieure et les graminées forment la couche inférieure.

Quantités de matières sèches ingérées (MSI)

Les résultats présentés au tableau 6 et relatifs aux variations annuelles et périodiques de la MSI montrent des niveaux d'ingestion relativement élevés au cours des deux premières périodes de pâturage. Cependant cette quantité de MSI diminue rapidement au cours de la dernière période de pâturage (38.49 et 33.9 vs 22.46 g de MSI/kg de poids vif). Les ovins ont consommé en moyenne plus de matière sèche que les caprins (33.1g vs 30.13g /kg de poids vif). Cette différence de 3 points environ entre les deux espèces peut être attribuée à la consommation plus élevée de légumineuses aussi bien qu'à la durée de pâturage plus élevée enregistrée pour les ovins. Ces résultats sont supérieurs à ceux rapportés par Pfister et Mlachek (1986) qui ont rapporté des valeurs similaires pour les deux espèces animales (2.2 et 2.1 kg de MS / 100 kg de poids vif). Cependant ces résultats confirment ceux rapportés par Narjisse, (non publiés) cité par Malechek et Narjisse, (1990) qui a signalé des valeurs de 67.4 et 63.5 vs 47.9 et 47.3 respectivement pour les saisons verte et sèche. Dans les conditions tunisiennes, parmi les résultats se rapportant à ce paramètre on peut avancer ceux de Griego, (1977) qui a signalé des valeurs de 36.9g de MSI/kg P.V pour des moutons, et 41.5 g de MSI/kg P.V pour des chèvres dans la zone pré-saharienne de la Tunisie. Saadani, (1988) travaillant sur des béliers de réforme a rapporté un niveau d'ingestion de 58g de MS/kg.P0.75. Par contre Ben Boubaker, (1988) travaillant sur des brebis adultes de poids moyen 45kg a trouvé des niveaux d'ingestion allant de 1700g de MSI / brebis à moins de 500g de MSI / brebis / j entre novembre et juillet. Les résultats de Derkaoui, (1977) et ceux de Rouaïssi et Majdoub, (1985) sur caprins montrent des valeurs de 3kg MS/100kg P.V et 50g MS/kg.P0,75 respectivement. Au Maroc on trouve les résultats de Bourbouze, (1980) qui rapporte la valeur de 5kg MS/100 P.V sur parcours marocains au cours des périodes favorables. Cependant El Aïch et al., (1990) ont rapporté des valeurs légèrement inférieures entre juin et décembre pour des ovins. Ces valeurs ont été de 43,08 à 22,92g/kg P.V de 38,9 à 22,59g/kg P.V et de 35,6 à 22,07g/kg de P.V respectivement pour les charges faible, modérée et forte.

Digestibilité de la matière sèche prélevée sur parcours

Les résultats de digestibilité *in vivo* varient significativement seulement entre la première et la deuxième année (60.18, 54.4 et 57.29% pour les années 1,2 et 3 respectivement), ceci peut être attribué au changement dans les disponibilités fourragères qui a forcé les animaux à pâturer à des niveaux bas au cours de la deuxième année de pâturage. D'autre part la période de pâturage a significativement affecté ($P < 0.05$) la digestibilité *in vivo* de la ration prélevée (66.31 vs 59.24 vs 46.32 % de la MS). En effet cette dernière a chuté de 7 points entre la première et la deuxième période et de 13 points entre la deuxième et la troisième. Cette diminution peut être expliquée par la sélection de plante aussi bien que de parties de plantes qui sont de plus en plus riches en cellulose

brute. Cependant les deux espèces ont digéré avec le même degré ($P>0.05$) la matière sèche des différentes rations prélevées sur parcours (56.64% pour les ovins et 57.94% pour les caprins).

Ces résultats confirment ceux rapportés par Pfister et Malechek, 1986) qui indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les ovins et les caprins au niveau de la digestion moyenne de la matière sèche sur parcours, même si les caprins ont sélectionné des rations moins digestibles autour de la saison de verdure. Ces auteurs attribuent ce dernier phénomène à une ingestion plus importante des ligneuses qui entraîne la chute de la digestibilité globale de la matière sèche ingérée sur parcours. Par contre les résultats de cette étude se trouve en contradiction avec ceux de Domingue et al., 1991a, qui indiquent que les caprins digèrent mieux la lignocellulose des fourrages pauvres que les ovins.

Performances

les résultats présentes au tableau 7 montrent que la période aussi bien que l'année ont significativement conditionné les performances des ovins et des caprins conduits en troupeau mixte sur parcours. Cependant l'effet de la saison est beaucoup plus marqué au cours de la 3 périodes de pâturage. Il se dégage que les performances animales reflètent bien les variations des quantités de MSI. En effet au cours de l'année 2 où les disponibilités fourragères ont été les plus faibles, les animaux ont enregistré les GMQ les plus bas par comparaison à ceux de la 1^{ère} et de la 3^{ème} année de pâturage (87 vs 54 et 67 g/animal/jour). D'autre part les ovins ont tendance à gagner plus de poids que les caprins (79.17g vs 63.33/animal/jour). Très peu de résultats sur les performances des ovins et des caprins pâturant ensemble sont disponibles dans les conditions tunisiennes exceptés ceux de Saadani (1988) travaillant sur parcours mixte qui a avancé les valeurs de 171, 57, -11 et 17 g/anim./j pour les ovins (race queue fine d'Algérie) et 163, 121, 1 et 33 g/anim./j pour les caprins (race locale) respectivement pour les mois de avril, juin août et septembre, et ceux de Grieco (1975) qui a trouvé des valeurs beaucoup plus faibles sur parcours herbacé/ligneux du sud tunisien.

Conclusion et orientation future

Au début de la saison de pâturage, les ovins et les caprins ont présenté un comportement divergent, donc de complémentarité, assurant une meilleure distribution de la pression de pâturage entre les différents groupes d'espèces végétales. Cependant ce comportement est devenu très similaire à la fin de la saison réduisant ainsi, sévèrement leurs performances à cette période. Il est alors nécessaire d'étudier la possibilité de complémentarité sur parcours. D'autre part Il est très important de déterminer la charge optimale et le pourcentage de chaque espèce à utiliser permettant de maximiser la production / ha et en même temps d'améliorer les conditions du parcours. Il est aussi intéressant d'étudier la possibilité d'augmentation de la capacité de chargement par ha pour ce type de gestion.

Tableau 1: Composition botanique de la végétation sur parcours en fonction de l'année

Années	1993	1994	1995
Graminées pérennes %	25.16 ^A	22.31 ^A	17.10 ^B
Graminées annuelles %	22.13 ^B	37.33 ^A	27.01 ^B
Légumineuses %	9.85 ^B	2.35 ^C	16.93 ^A
Autres herbacées %	30.25 ^A	36.63 ^A	30.54 ^A

Note : les valeurs sur une même ligne portant des exposants majuscules différents sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Tableau 2: Comportement alimentaire d'un troupeau mixte ovins caprins sur parcours herbacé

		Périodes			
Variables	Années	1	2	3	Moyennes
Temps de pâturage (Ovi + Cap)	1993	339	344	283	322 ^a
	1994	339	294	242	291 ^b
	1995	365	303	229	299 ^b
	Moyennes	348 ^A	313 ^B	251 ^C	LSD ann*per 38.89
Temps de repos (Ovi + Cap)	1993	43	90	74	69a
	1994	56	25	77.5	53b
	1995	37	50.5	78.5	55ab
	Moyennes	45.33 ^B	55.16 ^B	76.66 ^A	LSD ann*per 36.82
Temps de déplacement Ovin	1993	95	63	90	82
	1994	80	137	120	112
	1995	20	104	160	94
	Moyennes	65	101	123	96
Temps de déplacement Caprin	1993	100	29	156	95
	1994	90	185	201	158
	1995	135	149	185	156
	Moyennes	108	121	180	136 LSD esp*ann*per 39.46

Note : les valeurs sur une même colonne portant des exposants minuscules différents et les valeurs sur une même ligne portant des exposants majuscules différents sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Tableau3: Effet de l'espèce et de l'année sur la contribution en % des graminées pérennes et des légumineuses à la composition botanique des rations sélectionnées par les ovins et les caprins.

		Années			
Variables	Espèce	1993	1994	1995	Moyennes
Graminées pérennes	Ovins	44.35	57.93	29.37	43.88 ^b
	Caprins	57.14	58.83	47.13	54.36 ^a
	Moyennes	50.74 ^B	58.38 ^A	38.25 ^C	LSD esp*ann 5.34
légumineuses	Ovins	27.28	5.69	39.84	24.27 ^a
	Caprins	9.04	2.66	21.81	11.17 ^b
	Moyennes	18.16 ^B	4.17 ^C	30.82 ^A	LSD esp*ann 5.05

Note : les valeurs sur une même colonne portant des exposants minuscules différents et les valeurs sur une même ligne portant des exposants majuscules différents sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Tableau 4: Effet de l'année et de la période sur la contribution en % des graminées pérennes à la composition botanique des rations sélectionnées par les ovins et les caprins.

		Périodes			
Année		1	2	3	Moyennes
1993		57.21	47.38	47.64	50.74 ^b
1994		57.76	71.74	45.65	58.38 ^a
1995		48.47	32.69	33.58	38.25 ^c
Moyennes		54.48 ^A	50.6 ^A	42.29 ^B	LSD ann*per 8.76

Note : les valeurs sur une même colonne portant des exposants minuscules différents et les valeurs sur une même ligne portant des exposants majuscules différents sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Tableau 5 Contribution comparée en % des graminées pérennes, des légumineuses, des graminées annuelles et des autres herbacées à la composition botanique des rations sélectionnées par les ovins et les caprins, au sein de chaque période de pâturage.

Variables	Espèces	Périodes			Moyennes
		1	2	3	
Graminées pérennes	Ovin	44.98 ^a	45.52 ^a	41.14 ^a	43.88 ^a
	Caprin	63.98 ^b	55.68 ^b	43.44 ^a	54.36 ^b
Légumineuses	Ovin	31.95 ^a	29 ^a	11.86 ^a	24.27 ^a
	Caprin	13.14 ^b	13.13 ^b	7.25 ^a	11.78 ^b
Graminées annuelles	Ovin	0.00 ^a	0.00 ^a	2.60 ^a	0.86 ^a
	Caprin	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b
Autres herbacées	Ovin	23.0 ^a	25.49 ^a	44.05 ^a	30.84 ^a
	Caprin	22.87 ^a	31.18 ^a	49.3 ^a	34.45 ^a

Note : Pour chaque cat_gorie d'espèce végétale, les valeurs sur une même colonne portant des exposants minuscules différents sont significativement différentes (P < 0,05).

Tableau 6: Effet de l'année et de la période sur les quantités de matière sèches ingérées (g /kg PV)

Année	Périodes			Moyennes
	1	2	3	
1993	41.73	42.71	30.35	38.26 ^a
1994	36.53	25.16	16.74	26.14 ^b
1995	37.23	33.84	20.28	30.45 ^c
Moyennes	38.49 ^A	33.90 ^A	22.46 ^B	LSD ann*per 5.02

Note : les valeurs sur une même colonne portant des exposants minuscules différents et les valeurs sur une même ligne portant des exposants majuscules différents sont significativement différentes (P < 0,05).

Tableau 7: Effet de la période et de l'année sur les gains moyen quotidiens

Périodes	1	2	3	4	5
GMQ (gr)	127 ^A	115 ^A	72 ^B	41 ^C	3 ^D
Années	1	2	3		
GMQ (gr)	87 ^A	54 ^B	67 ^B		

Note : les valeurs sur une même ligne portant des exposants majuscules différents sont significativement différentes (P < 0,05).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arnold, G.W. 1980. Grazing behaviour in: Grazing animals (ed.) F.W.H. Moorley. World animal Science B1. Elsevier press NY.
- Ben Boubaker A. 1988. Relation *Acacia cyanophylla* (Lindl) - Végétation herbacées en conditions pâturées (Tunisie du Nord-Ouest). *Thèse de Docteur Ingénieur en Sciences Agronomiques*, ENSA Montpellier, 140p.
- Bouazizi A., A. Majdoub, T. Haddar and Snane H. 1995. Ecological classification And phytosociological features of vegetation in rolling hills of the upper semi-arid region of Tunisia (*in press*).
- Bourbouze A. 1980. Utilisation d'un parcours forestier pâturé par des caprins. *In Fourrage*, N°82: 121-144.
- Bourbouze A. 1991. Les interactions de l'animal et de la végétation dans les friches et les landes. In: Interaction entre la végétation herbagée et les grandes vertébrés: le pâturage considéré comme un facteur évolutif pour les plantes (ed) Filey M., et G. Balent G. 1991. p. 7-26.
- Clarke, D.A, M.G. Lambert, M.P. Rolson and N. Dymock. 1982. Diet selection by goat and sheep on hill country. *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production*. 42: 144-157.
- Collins, H.A., and A.M. Nicol. 1986. The consequence for feed dry matter intake of grazing sheep, cattle and goats to the same residual herbage mass. *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production*. 46: 125-122.

- Conolly, J. 1977. Development of methodology for mixed grazing. Fédération Européenne de Zootechnie: 28ème Réunion Annuelle, Bruxelles, Belgique, 1977.
- Cook W. C. 1963. Symposium on nutrition of forages and pastures collecting forage samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. *55 th meeting of the american society of animal science*, 265-269, august, 13, 1963.
- Daget, Ph., and Poissonet. 1971. Une méthode d'analyse physiologique des prairies. Critères d'application. *Ann. Agron.*, 22: 5-41.
- Daget Ph., et Poissonet. 1972. Une méthode d'estimation de la valeur pastorale. In: fourrage, n° 49.
- Derkaoui, M. 1977. Comportement alimentaires comparés des ovins et des caprins sur un parcours forestier de montagne. Mémoire de 3ème cycle, I. A. V. Hassen II, Rabat.
- Dominge, B.M.F. Dellow, D.W., T.N. Barry. 1991a. Voluntary intake and rumen digestion of low quality roughage by goats and sheep. *J. Agri. Sci. (Camb.)*, 117: 111-120.
- El Aich A., L.R. Rittenhouse, S. El Khamkhami and Ait Mhand T. 1990. Timahdit sheep production and behavior at three stocking rates in the moyen Atlas of Morocco. *J. Rng. Manage.*, 43: 390-396.
- Favre, Y. 1972. Comportement des bovins en Alpage. 2ème année d'observation. *Inst. Nat. Rech. Montagnardes*. Grenoble. 200p.
- Griego R.R. 1975. Sheep and goat grazing responses in the pré-sahara. *Proc. Western Section., American Soc. Anim. Sci.* 26: 151-153
- Griego R.R. 1977. Forage selection and nutrition of sheep and goats grazing in the Tunisian pre-Sahara. M.S. *Thesis*. Utah State Univ., Logan, Utah, U.S.A. 80 p.
- Harrington G. N., M. H. Friedel, K. C. Hodgkinson, and J. C. Nble. 1984. Vegetation Ecology and Management. In: *Management of Australian Rangelands*. G. N. Harrington, A. D. Wilson and M. D. Young (Ed.). Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Australia.
- Hatfield. P. G., G. B. Donart, T. T. Ross, and M. L. Galyean. 1990. Sheep grazing behaviour as affected by supplementation. *J. Rng. Manage.*, 43: 387-389.
- Holecheck, J. L., Varva, R. D. Pieper, and C. H. Herbel. 1989. Range management principales and practices. Pavlee, K., W. Lubelska and R. Anderson (Eds.) Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Hughes, T.P., A.R. Sykes, and D.P. Poppi. 1984. Diet selection of young ruminant in late spring. *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production*. 44: 109-112.
- LE DU, Y.L., and R.D. Baker. 1981. The digestibility of herbage selected by oesophageally fistulated cows, steer calves and wether sheep when strip-grazing together. *Grass and Forage Science*. 36: 237-239.
- Huston, J.E. 1978. Forage utilisation and Nutritive requirements of the goat. *J. Dairy Sci.* 61: 988-992.
- Leclair B. 1981. Une méthode d'étude du régime alimentaire d'ovins et de caprins en Corse: l'analyse coprologique. In: *Nutrition et systèmes d'alimentation de la chèvre*. ITOVIC. INRA. Tours: 506-510.
- Lecrivain, E. 1978. Rapport des travaux. Univ. Rennes Lab. d'Ethologie.
- Majdoub A. and Bouazizi A. 1995. Etude de l'effet de la charge et de la période de pâturage sur la dynamique de la production herbacée, le comportement alimentaire et les performances des ovins conduits sur parcours du semi-aride supérieur. *2ème journée sur les acquis de la recherche*. IRESA, Hammamet: 8-10 dec, 1995
- Malechek, J. C., and H. Narjisse. 1990. Behavioral ecology of sheep and goats: Implications to sustained production on pasture and rangelands. In: *41st Annual Meeting of the E.A.A.P.* Toulouse, France 9-12 July, 1990.
- Meuret M., N. Barthiaux-Hill and Bourbouze A. 1985. Evaluation de la consommation d'un troupeau de chèvres laitières sur parcours forestier. Méthode d'observation directe des coups de dents. Méthode du marqueur oxyde de chrome. *Ann. Zoot.*, 34: 159-180.
- Migongo-bake, W., and R. M. Hansen. 1987. Seasonal diets of camels, cattles, sheep, and goats in a common range in Eastern Africa. *J. Rng. Manage.*, 40: 76-79.
- Narjisse, H., and B. El Bare. 1984. Seasonal changes in the dietary botanical composition of sheep and goats grazing in oak forest. *Int. Rangeland Cong. Working papers. NP.*, May, 1984.
- Nastis, A.S. 1990. Difference in grazing behaviour of sheep and goats and consequence for pasture and land use.
- Nolan, T. 1977. An ecological appraisal of mixed grazing. Fédération Européenne de Zootechnie: 28ème Réunion Annuelle, Bruxelles, Belgique, 1977.
- Norton, B. W., P. J. Kennedy, and J. W. Hales. 1990. Grazing management studies with Australian Cashmere goats. 3. Effect of season on the selection of diet by cattle, sheep and goats from two tropical grass-legume pastures. *Aust. J. of Experimental Agri.*, 30: 783-788.
- Oliveira, E.R. 1987. Maintenance energy requirement of free ranging goats and shhep. Ph.D. Diss. Utah State Univ. Logan, Utah.

- Petit M. 1969. Emploi du temps des troupeaux de vaches mères et de leurs veaux sur les pâturages d'altitude de l'aubrac. *Ann. Zoot.*, 21: 5-27.
- Pfister, J. A., and J.C.Malechek. 1986. the voluntary intake and nutrition of goats and sheep in the semiarid tropics of northeastern Brazil. *J. Anim. Sci.*, 63:1078-1086.
- Pfister, J. A., and J.C.Malechek. 1986. Dietary selection by goats and sheep in a deciduous woodland of northeastern Brazil.. *J. Range Manage.* 39: 24-28. *J. Anim. Sci.*, 63:1078-1086.
- Rouaissi, H., and A. Majdoub. 1985. Comportement alimentaire des caprins sur parcours. *Rev. Homme, Terre et Eau.*, 56:97-84.
- Saadani Y. 1988. Production fourragère et comportement alimentaire des ovins et des caprins dans un parcours mixte à *Acacia cyanophylla*, *Atriplex numularia* et *Medicago arborea*. *Memoire de 3ème cycle d'Agron.* I.A.V.Hassan II, Rabat, Maroc, 123 p.
- Sahlu T., G. Jung, and Morris J. 1989. Influence of grazing pressure on energy cost of grazing by sheep on smooth bromegrass. *J. Anim.Sci.*, 67:2098-2105.
- Stoddart, L. A., A. D. Smith, and T. W. Box. 1975. Range management. IIIrd Ed. Mcgraw-Hill. New York.

L'AMELIORATION GENETIQUE DES CAPRINS PAR LE CROISEMENT D'ABSORPTION DANS LES OASIS DU SUD TUNISIEN

NAJARI S., KHORCHANI T., BEN BELGACEM A.,
BEN SAAD A., CHAMEM M., FATNASSI B.,
DHAOUI M.

Institut des Régions Arides 4119 Medenine- TUNISIE

RESUME

Afin d'améliorer la production caprine dans les oasis du sud tunisien, un projet de croisement d'absorption de la population caprine locale a été réalisé par l'IRA dans le cadre d'une coopération internationale; Le projet a débuté en 1980 et a été exécuté dans la station expérimentale de Chenchou. Les races Alpines, Damasquine et Murciana ont été importées et utilisées comme races amélioratrices. Le présent travail présente une comparaison des performances de production laitière des chèvres et de la croissance des chevreaux de la population caprine locale, des races pures importées et des différents types de croisés. Les résultats ont montré que le niveau de production des races importées a connu une chute considérable par rapport au lieu d'origine, que la race Alpine, en pure ou en croisement avec la population locale, a permis la meilleure amélioration des performances et que, malgré la conduite intensive en stabilisation, le milieu de production a manifesté un effet hautement significatif sur les performances des animaux.

Mots Cles : caprin, croisement, production laitière, croissance, milieu aride

SUMMARY

In order to improve goat production in the oasis of southern Tunisia, an absorption crossing project of local goat population was realised by the IRA beyond an international co-operation. The project started at 1980 and was executed in the experimental station of Chenchou. Alpine, Damascune races were imported and used as ameliorator races.

The present work presents a comparison of performances of milk production and kids growth between local population goat, imported races and different types of those crossed.

The results showed that the production level of the imported races highly decreased in comparison to their provenances; the alpine race, both pure and crossed with local population, permitted the best degree of improvement of performances; in spite of the intensive system in the stabilisation, the production environment manifested an effect highly significant on the animals performances.

INTRODUCTION

Dans la plus part des zones arides des pays en voie de développement; les populations humaines exploitaient les parcours naturels des régions difficiles par un élevage extensif des petits ruminants; malgré la faible marge de profit de cette activité, son maintien est favorisé par l'absence de concurrence d'autres exercices économiques à rentabilité supérieure. La faible productivité de l'élevage dans ces zones est due principalement à l'insuffisance des ressources naturelles, aux structures et systèmes de conduite qui sont souvent traditionnels et non aptes à l'intensification de l'élevage et au cheptel animal autochtone dont les performances sont limitées.

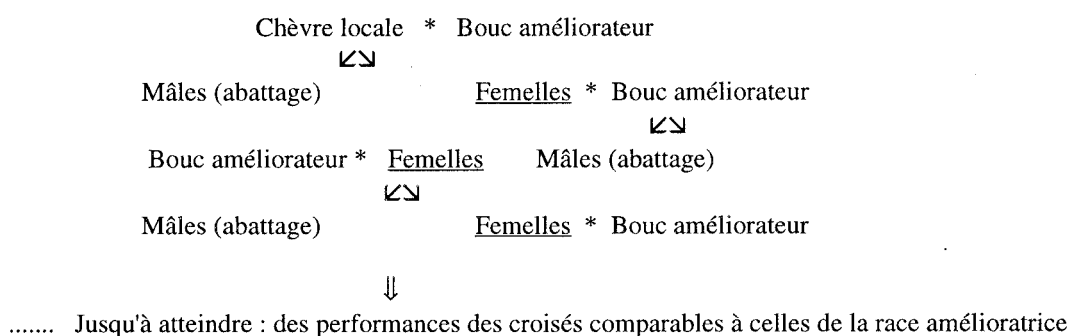
Les races locales exploitées dans ces zones arides, en absence de plans d'amélioration génétique, doivent leur existence dans ce type de systèmes d'élevage extensif à leur capacité d'adaptation vis-à-vis des facteurs du milieu; cette rusticité acquise par un long processus de sélection naturelle, constitue le principal atout des races locales pour l'exploitation des parcours de régions difficiles. Toutefois, le potentiel génétique des races autochtones est souvent jugé limité et représente un facteur limitant à l'intensification du mode de la conduite des troupeaux. Le problème du potentiel génétique limité des races locales se pose dans certaines zones des régions arides où les conditions locales sont favorables à l'intensification de l'élevage, c'est le cas par exemple, des oasis du sud tunisien où les conditions de production en termes de disponibilité d'alimentation en verdure, d'abreuvement et d'ombrage. Dans ces oasis, les troupeaux composés de quelques chèvres sont utilisés pour la production laitière selon un mode de conduite semi-intensif. Le facteur limitant à l'amélioration de la productivité reste le potentiel génétique de la chèvre locale qui a été démontré faible (I.R.A. PNUD et FAO, 1991).

L'amélioration génétique des performances de production laitière de la chèvre locale peut théoriquement être fait par la sélection ou le croisement. Or, vu le niveau de production faible de la chèvre locale, la longue période nécessaire pour réaliser un progrès génétique surtout pour les critères de production laitière connus de faible héritabilité et le coût important à mobiliser par ce types de plans d'amélioration, le processus de sélection n'était pas préconisable. Par conséquent, le croisement de la chèvre locale par des races amélioratrices a été essayé comme solution d'amélioration du potentiel génétique du cheptel caprin.

Matériel s et méthodes

Schémas de croisement:

Parmi les multiples schémas de croisement, un croisement d'absorption a été choisi. L'absorption de la chèvre locale consiste à la réalisation d'un accouplement, à chaque génération, entre les femelles croisées (à la première étape, il s'agit de chèvres locales) avec des boucs de la race amélioratrice; ce qui se traduit par une augmentation progressive du pourcentage des gènes de la race amélioratrice d'une génération à l'autre jusqu'à l'obtention d'une génération où les croisés manifestent un potentiel génétique comparable à celui de la race amélioratrice. Ce type de croisement est recommandé pour les systèmes d'élevages qui offrent aux troupeaux des conditions de conduite très favorables et quand la production laitière représente l'objectif de la production. L'utilisation de la race locale pour la création du nouveau génotype peut représenter une manière de valorisation des capacités d'adaptation de la chèvre autochtone. L'évolution échelonnée du niveau génétique permet une amélioration progressive du niveau de la conduite pour qu'elle soit adaptée aux performances du nouveau génotype.



Races amélioratrices

Pour l'absorption de la chèvre locale dans les oasis du sud tunisien, trois races amélioratrices ont été choisies: La race Alpine connue pour ses performances laitières, la race Damasquine spécialisée dans la production de la viande et la race Murciana-granadina qui est une race laitière et prolifique. Des échantillons de ces races ont été importés respectivement de la France, de Chypre et de l'Espagne. Les caractéristiques et les performances des races amélioratrices dans leurs pays d'origine sont présentées dans le tableau n°1.

Tableau 1: Caractéristiques et performances des races amélioratrices dans leurs pays d'origine

Race	Origine	Robe	Poids Adulte (kg)		Lactation	
			Mâle	Femelle	Qte (kg)	Durée (j)
Alpine	France	Pain grillé	80	60	570	245
Murciana	Espagne	Noire	70	50	500	210
Damasquine	Chypre	Brun rougeâtre	80	60	200	90

Najari et Fatnassi, (1993)

Il a été procédé à l'importation de 50 chèvres de chaque race et 20 boucs sauf pour la race Damasquine, le nombre de boucs était de 5. L'arrivée était échelonnée sur plusieurs campagnes: de 1980 à 1983.

Méthodes d'analyse:

Les performances de production laitière: durée de la lactation et moyenne de production journalière ainsi que les poids à la naissance et aux âges types 10, 30, et 90 jours ont été analysés pour les différents génotypes étudiés, soit : La chèvre locale, les trois races amélioratrices et les différents types de croisement

L'analyse de la variance pour les différentes performances a envisagé la correction des facteurs du milieu et les interactions significatifs, les modèles sont présent ci-après :

* Pour les moyennes de production journalière et la durée de la lactation:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + G_j + M_k + AM_{ik} + e_{ijkl}$$

* Pour les poids aux âges-types et les croissances journalières

$$Y_{ijklm} = \mu + A_i + G_j + S_k + M_l + AM_{il} + e_{ijklm}$$

Où :

Y: la performance à analyser

μ : la moyenne générale

A: l'effet de la campagne

G : le génotype

M : le mois de chevrotage

AM : Interaction année-mois de chevrotage

S: sexe-mode de naissance

e : erreur résiduelle

A part l'erreur, tous les facteurs du modèle sont considérés fixes.

Ben Hammouda, Djemali et Dahmane (1990)

Résultats et discussion**1 - La production laitière**

Au niveau de la moyenne de la production journalière, les performances ont varié de 0.71 Kg/jour jusqu'à 1.88 Kg/jour, ce qui peut être jugé faible en rapport avec le système de la conduite du troupeau. La chèvre locale a enregistré les performances les plus faibles parmi les races pures (0.72 Kg/jour) alors que la race Alpine a enregistré la moyenne la plus élevée (1.88 Kg/jour) et la différence avec les autres génotypes était hautement significative. Au sein des croisés à la première génération, les différences n'étaient pas significatives, toutefois, les croisées Alpines ont enregistré la moyenne la plus élevée. Il est important de signaler l'absence d'un important effet de l'hétérosis.

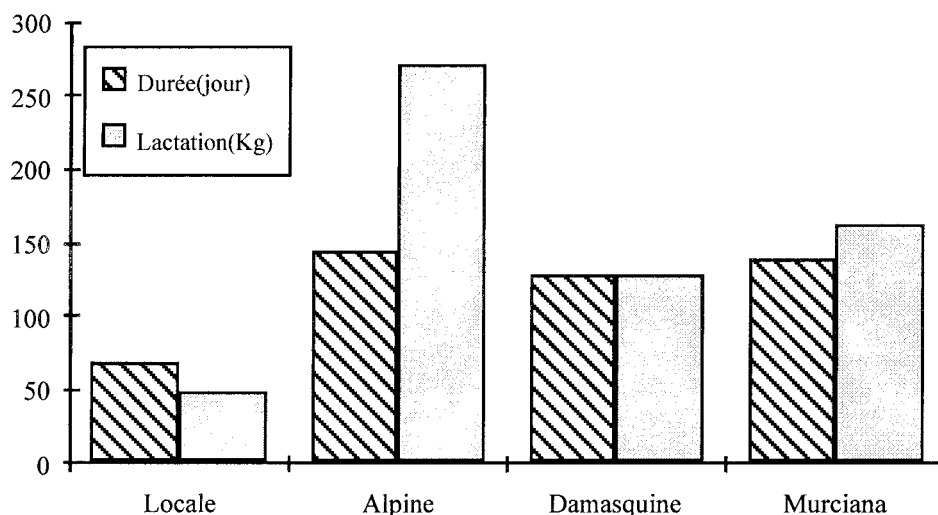
Pour la durée de la lactation, la race Alpine a eu des lactations les plus longues (144 jours) parmi les races pures. Au niveau des croisés, un important effet d'hétérosis s'est manifesté faisant des durées de la lactation des croisés supérieures à celles des races mères.

Tableau 2 : Moyenne de production journalière et durée de la lactation des races pures et des génotypes

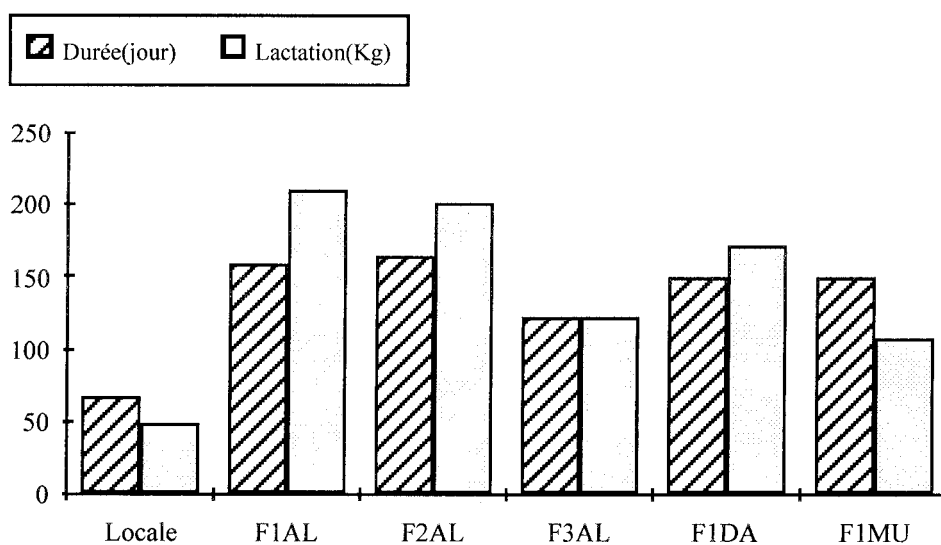
Génotype	Moyenne journalière (kg)	Durée de la lactation (jours)
Locale	0.72	67
Alpine (AL)	1.88	144
Damasquine (DA)	1.01	127
Murciana (Mu)	1.17	138
F1:		
Al * Lo	1.33	157
Da * Lo	1.15	148
Mu * Lo	0.71	149
F2		
Al * Lo	1.23	163

La production du lait totale par lactation permet de synthétiser les performances de la production journalière et la durée de la lactation pour donner la quantité totale du lait produite, en moyenne, par une chèvre durant une campagne de production et ainsi, permettre de visualiser les différences selon une autre dimension.

Les chèvres locales ont réalisé les lactations les plus courtes. Les graphiques 1 et 2 présentent les performances de production laitière pour les différents génotypes, il est intéressant de signaler la dégradation importante des performances des races importées par rapport à leurs productions dans leurs pays d'origine.



Graphique 1: Durée de la lactation en jours et production totale en Kg des races amélioratrices et de la population locale.



Graphique 2: Durée de la lactation en jours et quantité totale en Kg des chèvres locales et croisées.

L'analyse de la variance a montré l'effet hautement significatif des effets de l'année et du mois de chevrotage; Généralement l'effet de ces deux facteurs est indirect et se manifeste à travers la qualité du pâturage (Chamam, 1993). A la station de Chenchou, et sous une conduite intensive du troupeau en station en absence de contraintes alimentaires hors parcours, l'influence de ces deux facteurs représente est due, surtout, à la résistance des groupes génétiques aux variations de la chaleur et l'humidité de la région.

2 - La croissance des chevreaux

L'objectif de la production caprine dans les oasis reste principalement la production laitière; toutefois, la production de chevreaux a une grande importance économique en raison du prix élevé de la viande et la forte

demande de la viande du chevreau dans la région. Ainsi, l'amélioration des performances laitières par le croisement doit être accompagnée par une amélioration du poids du chevreau à l'abattage.

L'analyse statistique a porté sur les poids à la naissance et aux âges types 10, 30 et 90 jours; ainsi que sur les croissances journalières entre 10 et 30 jours et entre 30 et 90 jours.

Tableau 3: Poids à la naissance et aux âges types 10, 30 et 90 jours des chevreaux autochtones, des races amélioratrices et des croisés.

Génotype	PN	P10	P30	P90
Locale	1.88	2.76	4.06	7.33
Alpine	3.08	4.18	6.04	10.30
Murciana	1.89	2.36	3.46	7.51
Damasquine	3.29	4.25	5.99	10.70
F1 Al	2.26	3.15	4.84	9.88
F1 Mu	1.71	2.45	4.04	6.70
F2 Al	2.68	3.85	5.37	9.62
F2Mu	1.79	2.53	3.74	8.14
F2Da	1.78	2.90	3.10	6.89
F3 Al	2.73	3.61	4.76	8.76

Ben Hammouda, Djemali et Dahmane (1990)

Au niveau des races pures, la race Damasquine a manifesté les performances les plus importantes. Jusqu'à l'âge de 30 jours, les chevreaux de la race Murciana étaient les moins lourds avec des poids comparables à ceux des chevreaux autochtones.

Les chevreaux issus du croisement de la chèvre locale avec la race Alpine étaient les plus lourds parmi les croisés. L'amélioration du poids à la naissance augmente avec le pourcentage des gènes exotiques.

Le poids à la naissance du chevreau et jusqu'à un mois d'âge est surtout tributaire du poids adulte de sa mère et de production laitière. Ainsi, les croisés de la première génération entre la race Alpine et la population locale se voient handicapé par les performances de la chèvre locale (mère) au niveau des poids à la naissance et jusqu'à 30 jours d'âge. Après cet âge, les chevreaux peuvent compléter leur alimentation lacté par la consommation de la verdure et du concentré, ce qui explique la remarquable augmentation du poids à 90 jours qui exprime le potentiel génétique du croisé et l'effet de l'hétérosis. Ainsi, l'augmentation des poids jusqu'à 30 jours d'âge en fonction du pourcentage des gènes exotiques est due aux performances laitières des mères des générations correspondantes; alors qu'à 90 jours d'âge et lorsque le rôle de la mère se réduit, les performances vont en diminuant après la première génération du croisement exprimant ainsi la perte progressive de l'effet de l'hétérosis.

Conclusion:

La comparaison des races pures et des groupes génétiques croisés a montré que, malgré l'intensification des conditions d'élevage, les performances de production de la chèvre locale sont restées assez réduites pour la croissance et la production laitière. Le niveau de production de la population autochtone a pu être amélioré par le biais d'un croisement d'absorption avec les races amélioratrices exotiques. Toutes les races importées ont connu une chute de production par rapport à leur milieu d'élevage originaire. La race Alpine s'est distinguée en pure et en croisement par les meilleures performances de production laitière et de croissance des chevreaux, un important effet d'hétérosis a été décelé au niveau de la croissance des chevreaux. Le milieu de production, malgré l'intensification du système d'élevage, a montré un effet hautement significatif sur les performances enregistrées. Toutefois, la comparaison des performances de production reste insuffisante pour conclure sur l'intérêt économique du choix de la race amélioratrice, en effet, d'autres paramètres de productivité et de charge d'élevage comme les parterres de reproduction, de mortalité et de coût d'élevage, sont à inclure pour aboutir à des conclusions plus valables au niveau du développement de l'élevage caprin dans les oasis.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ben Hammouda M., Djemali M. et Dahmane T. 1990: Analyse des données relatives au croisement d'absorption de la chèvre locale à l'Institut des Régions Arides (Medenine).
- Chamem M. 1993 : Application de la méthode directe pour l'évaluation de la race barbarine. Mémoire de fin d'étude. Ecole Supérieure de Mateur 1993.

-
- IRA, PNUD et FAO 1991: Projet PNUD/FAO/TUN/84/013/A/01/12 Amélioration et développement des productions animales dans le centre sud tunisien.
- Najari S. et Fatnassi B. 1993: Perspectives d'amélioration de l'élevage caprin dans les oasis du sud tunisien. Journée de formation. Chenchou 1993.

EVALUATION DES RESULTATS DU CROISEMENT DE LA CHEVRE LOCALE DANS LE SUD TUNISIEN

NAJARI S., BEN BELGACEM A.
Institut des Régions Arides Medenine TUNISIE

RESUME

La comparaison des races pures et des croisés issus du croisement de la chèvre locale par les races Alpine, Damasquine et Murciana sur la base des performances de production laitière et de la croissance des chevreaux reste incomplète pour dégager des conclusions sur l'intérêt économique du choix de la race amélioratrice. Ce travail présente une tentative de classification des génotypes étudiés par deux méthodes, une première sur la base des performances zootechniques enregistrées sur les croissances des chevreaux, et une deuxième après la correction de ces performances par le poids vif adulte des génotypes correspondants. Les résultats, élaborés sur une partie des données, ont montré l'importance des changements des conclusions dégagées par les deux méthodes, la classification des groupes génétiques a connu un renversement important. Il est, donc, nécessaire d'élaborer des indices plus complets qui prennent en considération l'ensemble des charges de l'élevage caprin et qui intègrent les données relatives à la production laitière, à la croissance, à la reproduction et à la mortalité permettant ainsi de mieux répondre aux objectifs génétiques et économiques du croisement d'absorption de la population caprine locale dans les oasis.

Mots Cles: croisement, caprin, performances, correction, rentabilité, croissance

SUMMARY

The comparison between pure races and those resulting from cross-breeding of local goat with Alpine, Damascune and Murciana races on the basis of milk production performances and the growth of kids remains uncompleted to conclude economically about the choice of the ameliorator race.

In this paper, we try to classify the studied genotypes with two methods, the first on the basis of the performances of kids growth and the second after the correction of these performances with the adult live weight of corresponding genotypes.

The results, based on a part of the available data, showed how was important the variability of the conclusions using the first or the second method, the classification of the genetic groups knew an important changes. It is necessary to elaborate an index more complete which takes into account the set of goat breeding outputs and which involves the data related to milk production, growth, reproduction and to mortality allowing, consequently, at satisfying genetic and economical objective of the absorption cross-breeding of the local goat population in the oasis.

INTRODUCTION

Le projet de croisement d'absorption de la chèvre locale par des races amélioratrices à la chevrerie de Chenchou, réalisé par l'Institut des Régions Arides depuis 1980 (IRA, PNUD et FAO 1991), avait comme objectif l'amélioration des performances de l'élevage caprin dans les oasis de la région vu les conditions favorables à l'intensification et le potentiel limité de la population caprine locale. Les races amélioratrices importées étaient : l'Alpine, la Damasquine et la Murciana; ces races ont été utilisées pour la création de nouveaux génotypes plus productifs par le biais de l'absorption de la chèvre locale.

Le choix du croisement d'absorption de la chèvre locale se base sur le fait que le potentiel génétique de cette population autochtone ne permet pas une valorisation acceptable du système de production. L'objectif de cette action est d'abord économique et se résume au choix d'une race amélioratrice qui permet la création d'un matériel génétique caprin dont la rentabilité d'élevage dans les oasis est supérieure à celle de la chèvre locale.

Une première comparaison des performances des races utilisées pour le croisement et les différentes générations des croisés sur la base des performances individuelles (production laitière et la croissance des chevreaux) permet de faire une classification des différents groupes génétiques mais elle ne fournit pas la réponse complète à la question du départ : quel groupe génétique est plus rentable dans ce système d'élevage ? La réponse à cette question nécessite une évaluation des performances de rentabilité qui synthétisent les différentes étapes et composantes de la production caprine sous forme d'indice économique qui conjugue la production et le coût correspondant. Pour voir l'importance des changements des conclusions tirées par la

comparaison sur la base des performances individuelles ou moyennant des indices de rentabilité, ce travail consiste en une comparaison des deux procédés sur une partie des données du contrôle de la croissance des chevreaux issus du croisement d'absorption de la chèvre locale effectué par l'I.R.A Medenine

Donnees

L'étude a porté sur les données du contrôle de croissance des chevreaux de races pures ou croisés issus du croisement d'absorption de la chèvre locale; Les données de trois campagnes de contrôle de croissance effectué dans la chevrerie de Chenchou ont été utilisées pour cette analyse. Au total, les contrôles de 541 chevreaux ont été utilisés.

Pour chaque chevreau, les données utilisées sont : le groupe génétique, la date de la naissance, le numéro de la mère, le sexe, le mode de la naissance, le poids à la naissance et les contrôles du poids et les dates correspondantes aux contrôles.

Un premier traitement de ces données a permis de créer un second fichier qui contient les différents facteurs du modèle d'analyse sous forme de code (la race, le sexe, le mode de naissance, la campagne, l'âge de la mère), et les performances types qui sont : le poids à la naissance, les poids à 10 jours, 30 jours, 70, jours et 90 jours ainsi que les gains moyens quotidiens de poids entre les différents âges types.

Methodes d'analyse

Le principe de cette étude est d'effectuer, sur un même échantillon de données, deux types de comparaison des groupes génétiques: une sur la base des performances brutes et une deuxième sur la base de la rentabilité pour voir l'importance des changements des conclusions obtenues par l'une ou l'autre méthode. Sur le dernier fichier crée, deux types d'analyses ont été, ainsi, faites: pour les performances brutes ou corrigées , on a réalisé une analyse de la variance et une comparaison des génotypes.

Modèle d'analyse

Le modèle utilisé pour l'analyse statistique est le suivant

$$Y_{ijklm} = \mu + A_i + G_j + S_k + AM_l + Mn_m + \text{Interactions} + e_{ijklmn}$$

Où :

Y: la performance, représente dans la première partie les performances brutes (poids aux âges types et GMQ) et les performances corrigées dans la deuxième partie

μ : la moyenne générale

A: l'effet de la campagne

G : le génotype

AM : âge de la mère

Mn : mode de naissance

S : sexe

Interactions: les différentes interactions des facteurs du modèle

e : erreur résiduelle

A part l'erreur, tous les facteurs du modèle sont considérés fixes.

Correction des performances

L'objectif de la correction des performances est de permettre une comparaison des groupes génétiques plus logique en tenant compte de leur rentabilité économique. La production caprine est la synthèse des quantités de lait et de la viande et leurs qualités respectives qui déterminent directement le bénéfice de l'exercice d'élevage. Au niveau de la production laitière, on doit considérer la quantité totale par lactation, sa durée, les paramètres de la courbe de la lactation, ... et la qualité du lait: sa teneur en matière grasse et protéique et ses qualités bactériologiques dont l'importance apparaît au niveau de la valorisation du lait par la transformation ou la consommation directe.

La production de la viande par campagne d'élevage dépend de la reproduction, la conduite sanitaire et la croissance individuelle des chevreaux. L'inclusion de l'efficacité de la reproduction peut être faite par des paramètres comme la fertilité, qui permet de tenir compte de la charge des animaux stériles par groupe génétique et, également, par les taux d'avortement et de la prolificité qui sont en relation directe avec la taille de la naissance (Le Gal et Planchenault 1993). Enfin, le nombre de chevreaux produits et sevrés dépend également des taux de la mortalité des jeunes. La multiplication de la production en nombre de chevreaux par les

performances de croissance individuelle permet de définir la production de la viande de chaque groupe génétique pour tous les animaux présents dans la station.

Quant aux charges d'élevage, la différence principale entre les groupes génétiques peut être représentée par le poids vif adulte. En effet, Le coût de l'alimentation (qui représente 2/3 du coût de la production selon Caja 1990) est directement proportionnel au le poids de l'animal.

Dans cette étude, seule la correction par le poids vif adulte a été faite sur les performances individuelles brutes (poids aux âges types et croissances journalières) des différents groupes génétiques. Le calcul des indices de rentabilité sur les bases précédemment détaillées et qui permettent la comparaison la plus correcte des groupes génétiques sera faite sur la totalité des données du projet dans un travail ultérieur.

Résultats et discussion

Comparaison des performances brutes

Pour les poids aux âges types, le facteur race du modèle s'avère un effet hautement significatif ($p < 0.01$). Le tableau n°1 montre les performances à la naissance et jusqu'à 90 jours d'âge et la classification des différents génotypes pour les différents poids aux âges types.

Tableau 1: Poids aux âges types des chevreaux de race pure ou croisés

Génotypes	PN	P10	P30	P70	P90
Locale	2.8cb	4.1d	6.2dc	10.4dc	12.2b
Alpine	3.7a	5.5cb	7.3bc	10.7dc	12.1b
F1 A	3.0b	2.8f	6.9dc	15.9a	
F2A	3.8a	5.2bdc	7.4bac	11.0dc	12.6b
Damasquine	3.8a	6.0ba	8.5a	13.6b	16.1a
F2D	3.4a	4.9cdc	7.6ba	11.8c	12.1b
F3D	3.5a	5.8bac	7.6ba	11.2dc	12.7b
Murciana	2.5c	4.4cd	5.8d	10.4dc	10.5c
F2M	2.6cd	5.1bdc	6.3dc	10.2dc	9.4dc
F3M	2.7cb	6.6a	7.2bc	9.9d	8.3d

Les chevreaux des races Damasquine et Alpine avaient le poids à la naissance le plus élevé. A la naissance, le poids est proportionnel au poids vif adulte de la race et le gabarit de la mère, c'est pourquoi les poids de chevreaux locaux et Murciana étaient les moins lourds à la naissance. Pour les croisés, les croisées de la première génération Alpine * Locale étaient à poids inférieure à celle des autres croisées avec les races Alpine et Damasquine, ceci s'explique par les poids vifs réduits des mères locales de ce types de croisés.

Pour les poids 10 et 30 jours, jusqu'à cet âge l'alimentation du chevreau est composée essentiellement du lait maternel, ce qui explique les faibles poids des croisés F1 Alpine * locale dont les mères locales ne sont pas de bonnes laitières et la supériorité des chevreaux issus des mères à bonnes performances laitières comme les Alpines, Damasquines ou croisés F1 Alpines (Chevreaux F2 Alpines). Après un mois d'âge, et lorsque l'alimentation du chevreau devient variée et non pas exclusivement lactée, les croisés F1 Alpine se sont distingués par leurs meilleures performances, ce qui reflète l'importance de l'effet de l'hétérosis (la vigueur de l'hybride) qui a permis aux chevreaux de ce groupe génétique de corriger leurs faibles poids de la naissance et jusqu'à 30 jours d'âge et de réaliser des performances supérieures aux autres chevreaux contemporains.

La comparaison des performances de croissance des chevreaux des groupes génétiques étudiés a permis d'affirmer la supériorité des races Alpines et Damasquine en pure et en croisement par rapport à la population locale et la race Murciana.

Comparaison des performances corrigés

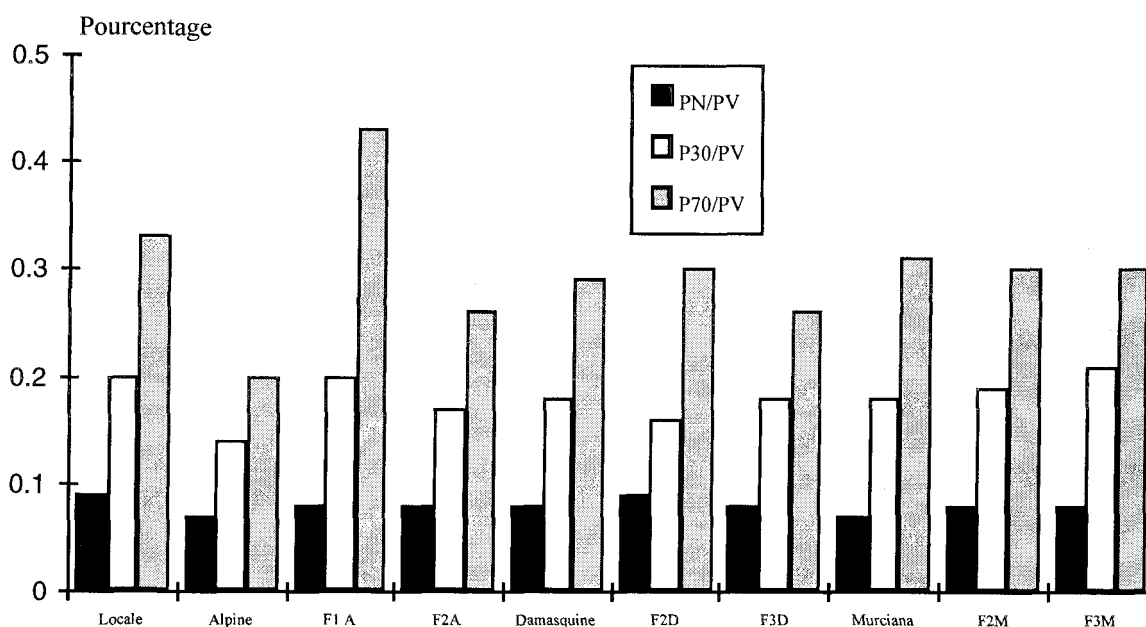
Une moyenne de poids vif des différents génotypes a été calculée (tableau n°2) et les performances des chevreaux ont été transformées en pourcentages par rapport aux poids vif adultes du génotype correspondant. Une analyse de la variance a été appliquée pour corriger les effets de milieux affectant significativement les performances des chevreaux afin de réaliser une comparaison des génotypes étudiés sur la base des performances corrigées. Les résultats sont présentés dans le tableau n° 2 et les graphiques 1 et 2.

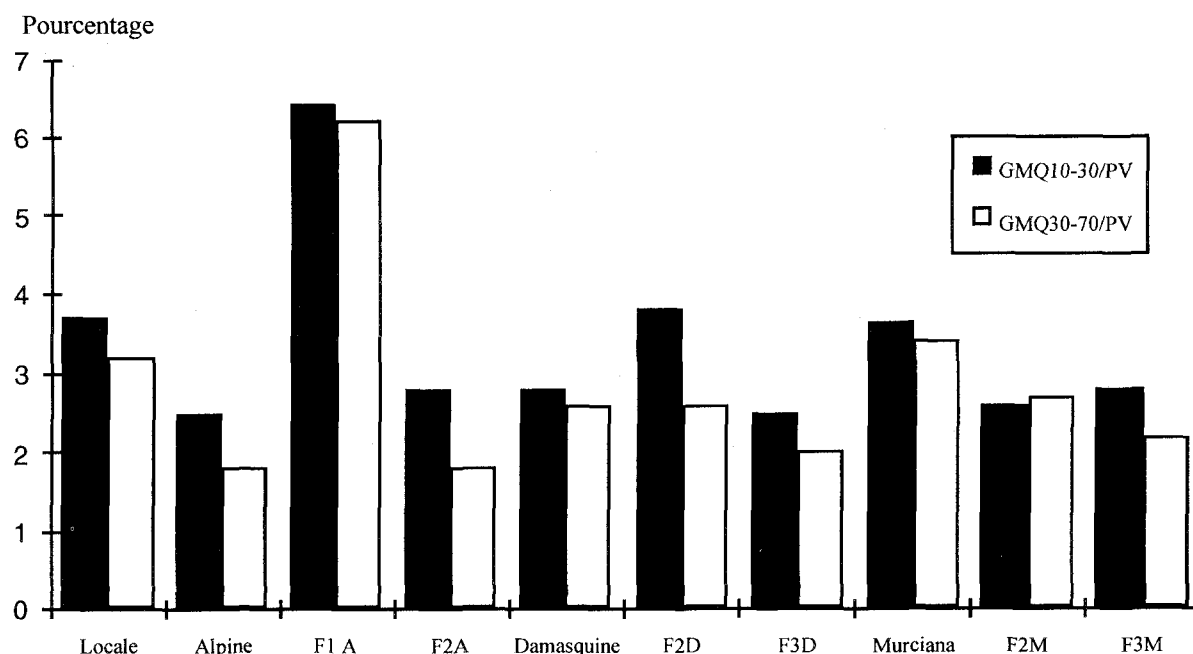
Tableau 2 : Poids vifs adultes et performances des chevreaux corrigés des différents groupes génétiques

Génotype	Poids vif adulte	PN	P10	P30	P70	P90
Locale	31.4	0.09	0.13	0.20	0.33	0.39
Alpine	51.6	0.07	0.11	0.14	0.20	0.23
F1 A	36.2	0.08	0.08	0.20	0.43	
F2A	43.9	0.08	0.12	0.17	0.26	0.29
Damasquine	47.2	0.08	0.12	0.18	0.29	0.43
F2D	39.2	0.09	0.12	0.16	0.30	0.31
F3D	43.2	0.08	0.13	0.18	0.26	0.29
Murciana	33.2	0.07	0.13	0.18	0.31	0.32
F2M	33.0	0.08	0.15	0.19	0.30	0.27
F3M	33.0	0.08	0.20	0.21	0.30	0.20

Le poids à la naissance des chevreaux représente de 7 à 9 % du poids vif adulte de l'animal pour toutes les catégories génétiques, ce poids dépend essentiellement du poids vif adulte et non pas du génotype. La relation directe entre le poids à la naissance et le poids adulte permet de prévoir, au niveau du plan de sélection, le gabarit des animaux adultes à un âge précoce en se basant sur le poids à la naissance; ceci est important pour les stratégies d'amélioration dans les milieux difficiles où les animaux de taille importante ne sont pas adaptés aux conditions du milieu et il est important d'éviter, dès les naissances, d'aboutir à des animaux lourds. Les chevreaux autochtones et les croisés F2 Damasquins présentent les poids à la naissance les plus importants par rapport au poids vif adulte.

La supériorité des performances des chevreaux de la population locale continue jusqu'à 10 jours d'âge lorsqu'elles seront dépassées par celles des croisés Murciana * Locale dont le poids du chevreau à cet âge représente 20 % du poids vif adulte. A l'âge de 70 jours, les croisés de la première génération Alpine * Locale deviennent nettement les plus performants ce qui exprime l'importance de l'effet de l'hétérosis (la vigueur de l'hybride) dont l'expression par le biais de la correction des poids aux âges types par le poids vif adulte est plus évidente que celle basée sur les performances brutes.

**Graphique 1:** Performances relatives aux poids vif adulte des différents groupes génétiques étudiés



Graphique 2: Moyennes des gains de poids journalières des différents génotypes corrigées par le poids vif adulte

Au niveau des croissances journalières, à part les croisés F1 Alpains, qui manifestent un important effet d'hétérosis, les meilleures performances ont été celles des races de petite taille (population locale et Murciana); ceci signifie qu'un coût additif (manifesté par l'augmentation du poids vif adulte) ne correspond pas à une productivité additionnelle et à une valeur ajoutée positive.

Conclusion

La comparaison des groupes génétiques issus du croisement d'absorption de la chèvre locale par des races amélioratrices Alpine, Damasquine et Murciana dans les oasis du sud tunisien a fourni des conclusions différentes selon la méthode d'analyse adoptée. L'évaluation des génotypes et leur classification sur la base des performances de la croissance individuelle : les poids aux âges types et les gains moyens quotidiens ne correspondent pas à celles obtenues après la correction des performances par le poids vif adulte des groupes génétiques correspondantes. Ces résultats permettent de conclure que pour atteindre l'objectif du projet de croisement, il est nécessaire d'utiliser des paramètres et des indices dont la conception permet de refléter les aspects comparatifs de rentabilité de l'élevage caprin. Bien qu'elle ait permis de voir l'importance des changements au niveau des conclusions et du choix du génotype améliorateur, l'inclusion du poids vif adulte n'est pas suffisante pour juger la rentabilité d'élevage des différents groupes génétiques étudiés ; en effet, d'autres paramètres zootechniques doivent être pris en considération soit au niveau de la production comme la production laitière, la qualité de la carcasse et des produits laitiers et les performances de la reproduction, soit au niveau des charges comme les charges des animaux non productifs et les taux de la mortalité des jeunes et des adultes...

L'analyse effectuée a permis de constater l'importance de l'effet du milieu aride même en dehors des parcours et sous des conditions d'élevage intensif, ce qui implique la prise en considération des capacités d'adaptation des génotypes aux pics des chaleurs de la région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Caja 1990: Cours de production animale. Institut Agronomique Méditerranéen de Saragosse (CIHEAM - IAMZ) Espagne.
- IRA, PNUD et FAO 1991: Projet PNUD/FAO/TUN/84/013/A/01/12 Amélioration et développement des productions animales dans le centre sud tunisien.
- Le Gal O. et Planchenault 1993: Utilisation des races caprines dans les zones chaudes. Contraintes et intérêts. UCARDEC CTA. Editions CIRAD. 260p

SAUVEGARDE DU DROMADAIRE ET AMELIORATION DE SA PRODUCTIVITE : BILAN DES PRINCIPALES RECHERCHES MENEES A L'INSTITUT DES REGIONS ARIDES DE MEDENINE (TUNISIE)

KHORCHANI, T., M. ISMAIL, M. HAMMADI, M.
MOSLAH et M. CHAMMEM
IRA Médenine

RESUME

En Tunisie, les travaux de recherche dans le domaine de l'élevage des dromadaires sont relativement récents. Compte tenu de sa localisation près des principales zones d'élevage actuel de cette espèce; l'Institut des Régions Arides de Médenine (I.R.A.) a entrepris de nombreux travaux au cours de 2 dernières décennies. Les thèmes abordés ont touché au diagnostic de la situation de l'élevage camelin et la mise au point de méthodes de sauvegarde ou d'amélioration de la productivité de cette espèce. D'autres travaux ont été orientés vers l'étude de la physiologie et des potentialités productives de cet animal.

SUMMARY

In Tunisia, research in the field of the breeding of dromedaries are relatively recent. Considering its location near the main current breeding zones of this kind ; the Arid Land Institute (I.R.A) has undertaken many works in the course last 2 decades. Approached themes were, the diagnosis of the situation of the camel breeding and the development of safeguard of improvement methods of the productivity of herds. Other works have been oriented to study the physiology and the productive potentialities of this animal.

1-INTRODUCTION

L'effectif des dromadaires en Tunisie a connu une régression alarmante au cours des quatre dernières décennies puisqu'il était estimé à 225.000 en 1955 et il n'est qu'environ 80.000 têtes actuellement. Les facteurs de cette régression peuvent être liés en premier lieu aux mutations socio-économiques qu'a connues la société tunisienne ainsi qu'aux facteurs liés à la faible productivité de cet élevage. Le premier groupe de facteurs est engendré par la régression du rôle du dromadaire dans le transport et les travaux agricoles à cause de leur mécanisation et l'apparition de moyens plus rapides et plus confortables. Il y a aussi le manque de bergers notamment à cause de la difficulté de cet élevage et ses exigences élevées en superficies qui sont très éloignées des agglomérations. D'un point de vue économique, cet élevage se caractérise aussi par la faible rentabilité. Le second groupe de facteurs détermine la faible productivité des troupeaux camelins: parmi ces facteurs on peut citer la perte relativement élevée des jeunes après la naissance qui s'élève à 11 % (ISMAIL, 1990) dont 8 % est due au chagal. L'intervalle entre les mises bas, qui peut dépasser 24 mois dans le système d'élevage traditionnel, constitue la principale cause de la faible productivité des troupeaux. Les carences alimentaires (au niveau qualitatif et/ou quantitatif) peuvent aussi affecter la production et la santé de l'animal. Les maladies et le niveau génétique des animaux sont des facteurs non négligeables.

Dans ce qui suit on va passer en revue les principaux résultats des recherches menées à l'Institut des Régions Arides de Médenine dans le domaine de l'élevage camelin.

2- Principales recherches réalisées sur le dromadaire

2.1- Diagnostic de l'élevage camelin dans le sud

Des enquêtes ont été réalisées au début de la décennie précédente dans des zones d'élevage de dromadaires dans le sud-est et le sud-ouest du pays (Ismail, 1990). Au niveau de l'évolution des effectifs ces enquêtes ont montré qu'ils ont connu une réduction annuelle moyenne de 2,2 % sur une période de 30 ans (1955-1985), mais cette régression a atteint 7 % au cours de la décennie 1979-1986 (figure 1). Quant aux paramètres de reproduction, le taux moyen annuel des naissances a été évalué à 40 - 45 % ce qui montre une faible performance qui s'ajoute aux autres contraintes qui freinent le développement de l'élevage de cette espèce. D'autres résultats relatifs à la structure des troupeaux camelins, la santé, la reproduction et la production ont été obtenus et sont devenues une référence nationale.

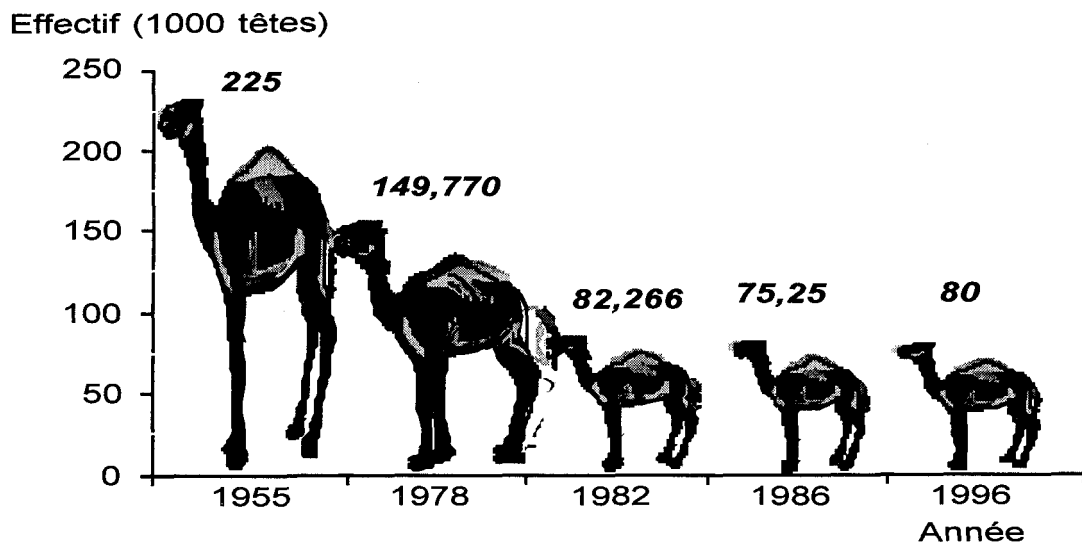


Figure 1: Evolution des effectifs de dromadaires en Tunisie après l'indépendance

2.2- Adaptation de la technique d'allaitement artificiel pour la sauvegarde des jeunes chamelons

Compte tenu du faible taux de naissance dans les élevages camelins, la diminution du taux de mortalité des chamelons après naissance s'impose d'avantage. La mort de la mère ou le manque du lait constituent l'une des causes des mortalités périnatales. Pour cette raison des essais ont été entrepris dans le but de sauvegarder les jeunes en utilisant du lait reconstitué en remplacement du lait maternel. La comparaison de 2 lots l'un a été maintenu sous mère et l'autre allaité artificiellement a montré que la croissance journalière a été presque double de celle du second lot (912 contre 462 g) entre l'âge de 15 à 30 jours. Cette différence tend à s'atténuer avec l'avancement dans l'âge (Khorchani et al, 1991). En moyenne, durant les 3 mois d'allaitement la croissance journalière des 2 lots a été comparable (607 et 593 g respectivement pour l'allaitement naturel et l'allaitement artificiel (tableau 1).

Tableau 1: Comparaison de la croissance entre l'allaitement naturel et artificiel des chamelons

Mode d'allaitement	Effectif	Paramètres	Age (jours)			
			15	30	60	90
Artificiel (A.A)	27	Poids (kg)	41,5	48,5	65,2	84,2
		GMQ (g)		462	594	643
Maternel (AM)	15	Poids (kg)	46,2	60,1	77,7	92,1
		GMQ (g)		912	586	484
A.A		GMQ (g): 0 - 3 mois		607		
A.M				593		

Source: Khorchani et al.(1991). A.A: allaitement artificiel, A.M: allaitement maternel

Le programme de distribution du lait reconstitué est rapporté à la figure 2

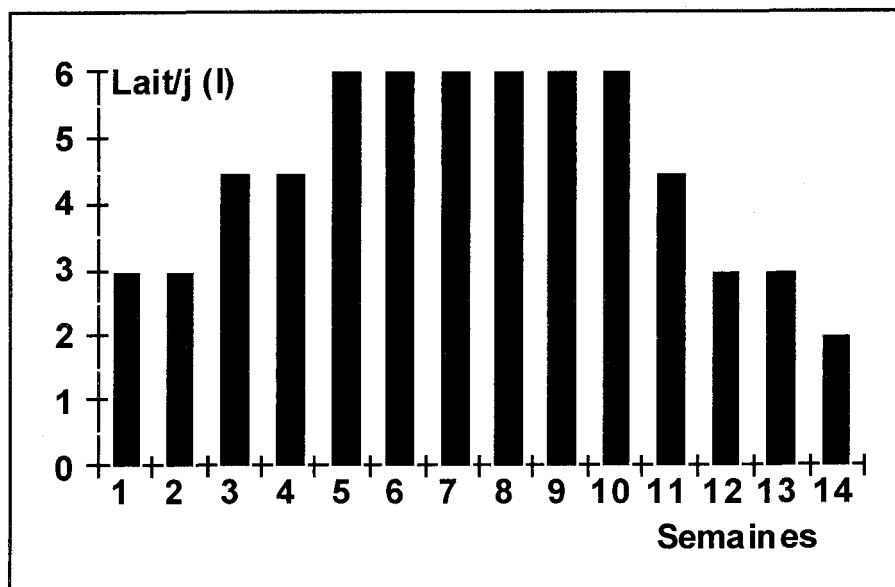


Figure 2: Plan de distribution du lait reconstitué aux jeunes chamelons

2.3 Amélioration de la productivité des dromadaires

Pour améliorer la productivité des troupeaux camélins on peut agir sur plusieurs paramètres. Dans ce paragraphe seuls quelques facteurs pouvant agir au niveau de la reproduction seront traités.

2.3.1- amélioration du rythme de reproduction des chamelles par la séparation précoce de leurs chamelons.

En plus de son avantage pour la sauvegarde des jeunes, l'allaitement artificiel de chamelons séparés de leurs mères à un âge précoce, a permis par ailleurs de diminuer l'intervalle entre les mises bas puisque la chamelle tarie a pu être saillie $9 \pm 9,11$ jours après la séparation. Ce qui se traduit par une diminution de l'intervalle qui sépare les mises bas successives de 714,6 à 403,5 jours en moyenne (Khorchani et al., 1991). Un record de 5 naissances durant 5 années successives a été enregistré chez une chamelle du troupeau de l'institut grâce à la séparation précoce de ses chamelons et leur allaitement par du lait reconstitué.

2.3.2- Utilisation des hormones sexuelles pour l'induction des chaleurs chez les chamelles.

L'objectif de cette opération est la diminution de l'intervalle entre les mises bas. Les traitements ont été effectués au cours du mois de septembre parfois pour anticiper la saison sexuelle normale pour réduire de 3 à 4 mois cet intervalle. Dans ce cas les femelles traitées sont celles qui n'ont pas pu être saillies (fécondante) au cours de la dernière saison pour diverses raisons ou celles qui ont avorté pendant l'été.

Lorsque le traitement hormonal est réalisé pendant la saison sexuelle, il est destiné à activer le retour en chaleur des chamelles allaitantes ayant mis bas au cours de cette saison. Dans ce cas l'intervalle qui sépare les mises bas successives est réduit d'environ 10 mois (Minoia et al, 1992, Khorchani, 1993). Parmi l'effectif de chamelles multipares traitées en période d'anoestrus par du PMSG (pregnant mare serum gonadotrophin) seules 96,3 % ont été saillies et 63 % de cet effectif ont engendré une gestation à terme (tableau 2). Le taux de femelles gestantes par rapport aux femelles traitées par le PMSG associé à la progestérone a été plus élevé (85,7 %). Toutefois, il faut remarquer que l'effectif d'animaux traités dans ce cas a été nettement plus faible. En pleine saison sexuelle, sur un effectif de 73 chamelles allaitantes traitées soit par PMSG seul ou associé à différentes doses et/ou formes de progestérone, 43 femelles ont été saillies et seulement 21 étaient gestantes (tableau 3). Les associations de la progestérone n'ont pas abouti systématiquement à une meilleure efficacité comparée à un traitement PMSG seul. Les résultats détaillés ont été présentés par Khorchani (1993) et Minoia et al (1992).

Tableau 2: Effet du traitement hormonal des chamelles multipares pendant la période d'anoestrus

Traitement	femelles traitées	femelles saillies (S)	femelles gestantes (G)	100 x G/S
PMSG	81	78	51	63,0
PMSG + Progestérone	14	14	12	85,7
Total	95	88	63	71,6

Source: Khorchani (1993), Minoïa et al. (1992).

La comparaison des traitements hormonaux en période d'anoestrus et en pleine activité sexuelle montre que leur efficacité est nettement plus faible lorsque les femelles sont allaitantes et que le traitement est réalisé quelques semaines après la mise bas. Les recherches devront se poursuivre pour améliorer l'efficacité du traitement avec le temps. Notons que le traitement au PMSG, qui est une grosse molécule, semble engendrer la formation d'anticorps rendant ce traitement de moins en moins efficace au fur et à mesure que le nombre d'intervention s'élève.

Tableau 3: Effet du traitement hormonal sur la saillie des chamelles allaitantes pendant la saison d'oestrus.

Traitement	femelles traitées	femelles saillies (S)	femelles gestantes (G)	100 x G/S
PMSG	26	16	9	34,6
PMSG + Progestérone (différentes doses)	47	27	12	25,5
Total	73	43	21	28,8

source: Khorchani (1993), Minoïa et al. (1992).

2.3.3. Amélioration du niveau alimentaire des chamelles pendant la fin de gestation et le début de la lactation.

L'intensification de l'élevage de dromadaire au Kenya a permis une réduction de l'intervalle entre les mises bas à 19 et 14,3 mois en Arabie Saoudite. Ceci montre l'importance de ce facteur sur les performances de reproduction de cette espèce (Wilson, 1989). L'effet d'une supplémentation par un aliment à base d'orge, de son de blé et de grignons d'olive a été étudié à l'IRA pendant les 3 derniers mois de gestation et les 3 premiers mois de la lactation (Hammadi et al., 1996) pour déterminer son impact sur la reprise de l'activité sexuelle post-partum des chamelles. La supplémentation a significativement amélioré le taux de saillie mais aucune gestation n'a été enregistrée bien que le taux de la progestérone plasmatique a été plus élevé chez le lot recevant la complémentation après le retour du parcours. En général, la concentration de cette hormone a été faible.

On a constaté (Khorchani, 1993) chez un éleveur privé 3 mises bas successives de 2 chamelles sans intervention hormonale ni séparation précoce des chamelons. Toutefois, ces chamelles reçoivent au cours de toute l'année une complémentation composée de grignons d'olive, d'orge et de son de blé.

2.4. Détermination de l'ingestion et de la digestibilité sur parcours et de la composition chimique de quelques espèces halophytes

L'estimation de la quantité ingérée sur le parcours s'avère très utile pour évaluer le degré de satisfaction des besoins des dromadaires et pour déterminer éventuellement la quantité d'aliment complémentaire à distribuer.

Ne disposant pas de méthodologie spécifique à cette espèce, la méthode de l'index fécal a été appliquée sur le parcours et la méthode de marqueur a servi pour estimer la quantité des fèces excrétées (Abdouli et al., 1992).

L'index fécal a été déterminé sur des dromadaires en stabulation en utilisant 4 espèces végétales les plus représentatives du parcours à étudier. Pour l'estimation de l'excrétion fécale, une dose arbitraire d'oxyde de chrome a été distribuée au même dromadaires.

Cette première partie de l'étude a permis de conclure qu'il est possible d'estimer la digestibilité de la matière sèche (DMS) ou de la matière organique à partir de l'analyse chimique d'un échantillon de fèces prélevé le matin. La teneur en NDF constitue le meilleur index pour l'estimation de DMS (Tableau 4).

Tableau 4: Equations de régression entre la DMS et les index fécaux

Variable indépendante	B	A X	R	Ecart type résiduel
CB	11,407	+ 1,045 CB	0,76	4,67
NDF	-76,433	+ 1,887 NDF	0,93	2,59
ADF	69,433	- 0,454 ADF	0,17	7,07
ADL	70,820	- 0,934 ADL	0,66	5,40
L	61,019	- 0,705 L	0,75	4,75
Azote (N)	47,435	- 0,811 N	0,04	7,17
ADF-N	54,305	-11,879 ADF	0,78	4,46

Source: Abdouli et al. (1992)

CB: cellulose brute, NDF: neutral detergent fiber, ADF acid detergent fiber, L: lignine, ADL: acid detergent lignin, ADF-N: azote dans ADF

Par ailleurs, le taux de recouvrement du chrome n'a pas été très élevé (82,5 %) mais acceptable ce qui permet d'utiliser l'oxyde de chrome comme marqueur pour l'estimation des quantités de fèces excrétées par les dromadaires. L'ingestion de 4 chamelles allaitantes a été estimée sur 2 périodes au printemps sur un parcours de plantes halophytes à l'oued El Fjé près du siège de l'IRA. Les caractéristiques détaillées de ce parcours ont été décrites par Khorchani et al. (1992) et Khorchani (1995). La quantité moyenne de MS ingérée par ces animaux au cours d'une journée de pâturage (9 à 10 h) a été estimée à 5,9 kg (tableau 5) et la digestibilité moyenne de la MS a été à 49,2%. Celle ci a été calculée à partir de l'index:

$$\text{DMS} = 1,887 \times \text{NDF} - 76,43 \quad (R=0,93 \text{ et } \text{ETR} = 2,59, n = 12) \text{ (Abdouli et al., 1992).}$$

D'autre part le comportement de ces animaux a été étudié, les heures du jours sont réparties entre l'ingestion 77,3 % et les déplacements 22,5 % alors que pendant la nuit la rumination prédomine (68,1% du temps) et l'animal se repose pendant le reste (31,9 %). Cette quantité ingérée semble suffisante pour l'entretien des animaux mais pas pour la production.

Tableau 5: Ingestion de la végétation d'un parcours salé par les chamelles

	Période		Périodes combinées	
	1	2	Moyenne	Ecart Type
Matière sèche:				
kg/ jour	5,82	5,92	5,88	0,48
g/kg P ^{0,75}	68,5	68,3	68,4	6,93
Matière organique (MO):				
kg/jour	4,76	4,98	4,88	0,30
MO digestible:				
kg/jour	2,26	2,52	2,41	0,23
g/kg P ^{0,75}	26,6	29,1	28,1	3,71

Source: Khorchani et al. (1992)

Pour estimer les apports nutritifs de la végétation prélevée par les dromadaires sur un parcours, les quantités de matière sèche ingérées ont été estimées par la méthodologie indiquée antérieurement. Cependant celles ci ne sont pas suffisantes pour juger les niveaux des apports des divers éléments nutritifs indispensables à l'entretien de l'animal ou ses productions. Pour cela la détermination de la composition chimique et la digestibilité des espèces appréciées s'avère d'une grande utilité. Dans un première étape, sept espèces ont été étudiées au cours d'une année a savoir *Atriplex halimus*, *Nitraria retusa*, *Limoniastrum guyonianum*, *Arthrocnemum indicum*, *Tamarix gallica*, *Suaeda mollis* et *Salsola tetrandra*. La digestibilité "in vitro" de ces espèces a été mesurée en utilisant du contenu du rumen de deux dromadaires munis de canules au niveau du premier compartiment. Ces espèces se caractérisent par des teneurs très élevées en matières minérales qui peut facilement dépasser 30 % de la MS. Leur teneur en MAT sont en général acceptables si l'on tient compte des conditions dans lesquelles elles végètent (tableau 6). Pour la plupart des espèces, la digestibilité "in vitro" de la MS se rapproche de 40 % ce qui confirme le rôle non négligeable que peuvent jouer les plantes halophytes dans

la satisfaction des besoins des dromadaires surtout dans un pays comme la Tunisie ou les parcours salés occupent environ 1.250.000 ha (Burgmeister, 1975).

Tableau 6: Valeurs moyennes et variations au cours de l'année de la composition chimique et des digestibilités "in vitro" de la MS et de la MO des espèces halophytes étudiées (n = 12).

Espèces	Valeurs	Composition chimique (% MS)					DMS %	DMO %
		MS ¹	MM	MAT	NDF	ADF		
<i>A. halimus</i>	Moyenne	52,2	13,7	6,8	68,4	44,9	32,3	23,8
	E. Type	8,6	4,8	1,9	7,3	7,0	10,3	8,8
	Minimale	38,6	7,4	3,7	58,3	35,5	11,8	6,7
	Maximale	63,9	22,3	9,7	82,0	58,0	44,7	39,1
<i>N. retusa</i>	Moyenne	32,1	17,0	10,8	50,9	34,0	44,1	34,2
	E. Type	5,4	3,5	2,4	6,0	6,1	8,4	7,1
	Minimale	24,9	11,2	7,6	43,1	28,5	29,4	23,2
	Maximale	42,9	21,9	15,3	62,2	49,7	55,1	46,4
<i>L. guyonianum</i>	Moyenne	47,5	26,2	7,5	39,1	30,1	40,4	31,2
	E. Type	8,2	2,6	1,4	5,6	5,4	6,9	8,6
	Minimale	36,8	21,5	5,3	29,9	22,3	24,8	11,6
	Maximale	60,4	30,8	9,9	47,1	38,0	51,8	45,4
<i>A. indicum</i>	Moyenne	31,9	29,8	8,2	45,6	23,8	44,1	26,3
	E. Type	6,9	3,0	2,2	3,7	3,0	4,0	6,7
	Minimale	22,4	24,4	5,8	38,8	19,5	38,5	20,0
	Maximale	47,1	34,6	13,4	51,7	29,8	50,1	43,1
<i>T. gallica</i>	Moyenne	51,0	19,2	7,0	46,9	29,7	38,2	27,7
	E. Type	4,1	4,7	1,6	3,8	3,3	3,9	4,0
	Minimale	44,9	13,2	3,7	40,2	23,2	31,8	17,4
	Maximale	57,7	30,1	9,6	54,3	34,9	46,8	31,3
<i>S. mollis</i>	Moyenne	48,1	15,1	10,5	65,8	45,1	28,7	17,4
	E. Type	18,5	7,5	3,8	12,0	9,8	12,9	7,2
	Minimale	21,2	5,4	5,2	48,5	31,0	9,0	4,6
	Maximale	73,1	28,2	17,9	83,3	60,1	44,6	29,9
<i>S. tetrandra</i>	Moyenne	41,8	28,0	7,5	47,4	28,9	38,1	23,6
	E. Type	8,1	7,7	2,5	6,6	4,9	5,6	6,0
	Minimale	28,4	13,1	5,0	36,2	19,0	30,5	13,9
	Maximale	55,4	39,3	13,0	58,2	38,5	50,9	37,2

¹ MS est exprimée en % du produit brut.
Source: Khorchani (1995)

2.5- Comparaison de quelques paramètres du rumen et de la digestibilité de la matière sèche entre les dromadaires et les moutons

Beaucoup d'aspects concernant la physiologie de la digestion chez les dromadaires restent peu connus. Il est généralement admis que les dromadaires digèrent les aliments pauvres comparativement aux moutons. Cette supériorité semble due à une différence au niveau de la flore microbienne du rumen (Farid et al., 1979; Gihad et al., 1989; Kayouli et Jouany, 1990) ou à une différence de vitesse de passage des aliments dans le tractus digestif de l'animal, une troisième hypothèse se rapporte aux conditions physico-chimiques du rumen plus favorable à la cellulolyse chez les dromadaires. c'est cette hypothèse qu'on a voulu vérifier. Pour cela, des échantillons du contenu du rumen de dromadaires et de moutons ont été prélevés après abattage. On s'est particulièrement intéressé à la relation entre la concentration en acides gras volatils (AGV) et le pH du rumen au moment du prélèvement de l'échantillon. La figure 3 montre les droites de régression entre ces deux paramètres, bien que les coefficients de régression des ces deux équations ne soient pas significativement différents, globalement les deux droites de régression ont été significativement différentes ($P < 0,01$) ce qui signifie qu'à chaque niveau usuel de la concentration en AGV du rumen correspond un pH plus élevé chez les dromadaires ce qui confirme l'hypothèse déjà mentionnée puisqu'il est connu que les $pH < 6$ peuvent arrêter l'activité cellulolytique des bactéries (Stewart, 1977).

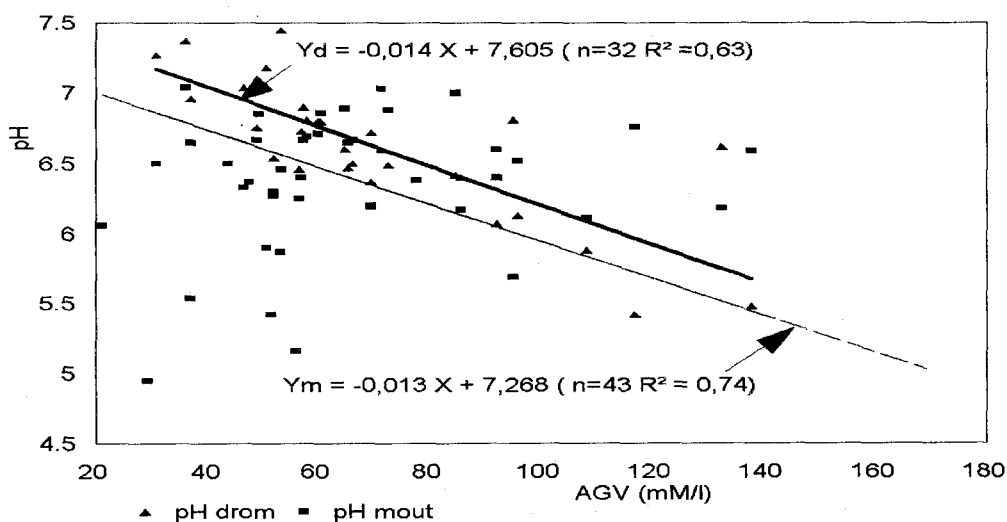


Figure 3: Relation entre la concentration en AGV et le pH dans le rumen des dromadaires et des moutons (cas d'échantillons pris à l'abattoir)

La relation entre la concentration en AGV et le pH du rumen a été étudiée aussi "in vitro" chez les deux espèces, une fois dans le cas d'un régime constitué de 1/3 de concentré et 2/3 de fourrage et dans le cas d'un régime riche en concentré (2/3 de concentré et 1/3 de fourrage). Les droites de régressions correspondant aux dromadaires ont été situées au-dessus de celles correspondant aux moutons (Khorchani 1995) ce qui confirme le résultat obtenu dans l'étude précédente. La supériorité de la digestibilité de la M.S. par les dromadaires a été confirmée "in sacco" dans les cas des deux régimes sus-mentionnés. La différence entre les deux espèces devient plus importante quand le régime est plus riche en concentré (tableau 7).

Tableau 7: Dégradabilité "in sacco" de la M.S. d'un foin d'ovine dans le rumen des dromadaires et des moutons.

régime	dromadaire	mouton	P
régime1 (F:C = 2:1)	70,4	67,7	0,056
régime2(F:C = 1:2)	70,0	62,9	0,0001

F:foin ; C: concentré ; P: probabilité
source: Khorchani(1995) .

2.6- Engraissement des chamelons à partir de sous-produits agricoles :

La croissance de deux lots de chamelons âgés de 11 à 13 mois a été étudiée d'une part dans le cas d'un régime alimentaire basé sur la végétation d'un parcours salé et dans le cas de régime à base de paille de blé à volonté et un aliment complémentaire constitué d'orge (47 %), grignon d'olive brut (50 %), de CMV (2 %) et de sel d'autre part. La quantité distribuée de cet aliment a été de 2 kg /tête; avec une majoration de 0,5 kg à chaque mois du lot élevé sur parcours.

Le poids vif final moyen à été de 194,3 Kg celui du lot expérimental ,il a été de 226,6 kg, soit une croissance journalière moyenne de 289 et 500 g respectivement pour les deux lots.

La différence importante au niveau de la croissance (+74,8 %) entre les deux lots montre que le dromadaire a un potentiel de production nettement plus élevé que celui obtenu sur les parcours bien que le régime expérimental utilisé dans cette expérience soit basé sur des sous produits agricoles de valeurs alimentaires faibles.

2.7- Fabrication de fromage à partir du lait de chamelle

La production laitière des chamelles dans les conditions d'élevage traditionnel est généralement limitée .La quantité produite est consommée par le chamelon, quelques chamelles du troupeau sont traitées par le chamelier pour lequel le lait avec la farine d'orge constituent la base du régime alimentaire. L'idée répandue chez les éleveurs et les bergers est qu'il est impossible de cailler le lait de chamelle.

Dans le but d'étudier les possibilités de fabrication de fromage à partir de ce lait, une expérience a été réalisée avec un soutien de l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO). Les quantités nécessaires du lait ont été collectées chez les éleveurs de la région d'El Ouara.

Les rendements respectifs de ces types de fromage pour 100 litres de lait ont été de 8 à 10 kg pour les fromages frais et de 7 kg pour les fromages à pâte fraîche, à pâte pressée et les fromages secs de type camembert Le caillage du lait a été possible grâce à la multiplication par 2 ou par 4 de la dose de présure comparativement à celle utilisée pour le lait des vaches. Toutefois, étant donné que le coagulum est friable, pour limiter les pertes de matière sèche, il est nécessaire de faire un pré-égouttage. Comparativement au lait de vache, le lait de chamelle se caractérise par une plus faible teneur en matière sèche et en matière grasse ainsi qu'une bonne stabilité de l'acidité qui peut atteindre 8 heures à une température de 35 °C (Moslah et Megdiche, 1989).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdouli, H.; Khorchani, T and Nefzaoui, A., 1992 .Nutrition of the one-humped camel : I. Faecal index determination and chromic oxid excretion pattern and recovery. *Animal. Feed Sci. Technol.*, 39, 293-301.
- Burgmeister, R., 1975. Problèmes posés par l' élevage du dromadaire en Afrique :Un exemple du sud tunisien. Publication de l'office allemand de coopération technique.S.A.R.L. (GTZ),Eschorn, 21, 86p.
- Farid M.F.A.; S.M. Shawket and M.H.A. Abdel-Rahman, 1979. Observation on the nutrition of camels and sheep under stress. Provisional report n° 6. *Camels*, pp: 125-179. IFS. (Uppsala Sweden).
- Gihad, E.A.; T.T. El-Ghallad; A.E. Sooud; H.M. Abou El-Naser and M.F.A. Farid, 1989.Feed and water intake, Degestibility and nitrogen utilization by camels compared to sheep and goats fed low protein desert by-products. *Options Méditerranéennes Série A. N° 2*, 75-81.
- Hammadi, M. T. Khorchani, G. Khaldi, H. Abdouli et N. Slimane ,1996. Effets d'une supplémentation par un aliment concentré sur les performances de production et de reproduction en période *post-partum* chez la chamelle (*Camelus dromedarius*) suitée et élevée sur un parcours du sud-tunisien. Séminaire international "Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides " Jerba 5-6-7 décembre 1996
- Ismail, M. 1990. Situation et perspective de l'élevage camelin en Tunisie. *Revue des Régions Arides* 1/90, 115-134.
- Kayouli C. and J.P. Jouany, 1990. Comparison of the hydrolitic activity of microorganis in the forestomachs of dromedaries and sheep. *Reprod. Nutr. Dev. Suppl.* 2 , 193 s.
- Kayouli C.; J.P. Jouany and J. Ben Amor, 1991.Comparison of microbial activity in the forestomachs of the dromedary and the sheep measured in vitro and in sacco on mediterranean roughages. *Anim. Feed Sci. and Technol.*33, 237-245.
- Khorchani, T.; M. Hammadi et M. Moslah, 1991. Résultats des recherches obtenus à l'institut des Régions Arides de Médenine dans le domaine de l'amélioration de la productivité des dromadaires. Séminaire National sur l'élevage camelin .Douz (Tunisie) 29 et 30 Décembre.
- Khorchani, T.; H. Abdouli; A. Nefzaoui; M. Neffati and M. Hammadi, 1992. Nutrition of the one-humped camel. II Iintake and feeding behaviour on arid ranges in southern Tunisia. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39, 303-311.
- Khorchani, T et S. Najari, 1993. Analyses des facteurs zootechniques et adaptation des systèmes d'élevage du

- dromadaire. Cours spécialisé: développement des zones arides et désertiques, I.R.A. Médenine 8 Nov.-3 Déc. 1993. 26 p
- Khorchani, T.; D. Demeyer et M. Hammadi, 1995. Comparaison du pouvoir tampon dans le rumen des ovins et des dromadaires Ann. Zootech. 44, Suppl. 1, 149.
- Minoia, P.; M. Moslah; G. M. Lacalandra; T. Khorchani and A. Zarilli, 1992. Induction of oestrus and management of reproduction in female dromadary camel. Proc. 1st Int. Camel Conf.(Dubai), pp. 119-123 Dubai World Trade Centre (United Arab Emirates).
- Moslah M. et F. Megdiche, 1989. L'élevage camelin en Tunisie . Options Méditerranéennes, Série A, Séminaire n° 2 , 33-36. CIHEAM (Zaragoza, Espagne)
- Stewart, C.S., 1977. Factors affecting the cellulotic activity of rumen contents. Appl. Env. Microb. 33, 3, 497-502.
- Wilson, R.T., 1989. Reproductive performance of the one humped camel: the empirical base . Revue Elev. Med . Vet . Pays trop . 42 , 117-125.

LES AJUSTEMENTS METABOLIQUES DU DROMADAIRE AU COURS DU STRESS THERMIQUE ET LA DESHYDRATATION.

A. GUEROUALI et N. SBAI

Département de Physiologie Animale et Thérapeutiques
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
Maroc

RESUME

Une série d'expérimentations calorimétriques a été réalisée sur cinq chamelles, désignées pour étudier l'effet du stress thermique et de la déshydratation sur l'utilisation de leur nourriture et leur dépense énergétique. Durant l'expérimentation du stress thermique, les animaux étaient exposés à une température de 20°C (P1) pendant 24h puis la température était augmentée à 40°C pendant 12h par jour dans une chambre climatique. L'expérimentation de la déshydratation consistait en 7 jours de normohydratations (D1) suivie par 27 jours de déshydratation (D2) puis une période de rehydratation des animaux de 3 jours (D3). Pendant les deux expérimentations, les chamelles recevaient 2kg de grains d'orge, 1 kg de paille et 50g de CMV pour couvrir les besoins énergétiques d'entretien.

La prise alimentaire et la digestibilité n'étaient pas affectées par le stress thermique, tandis que la prise d'eau augmentait de 300%. Une légère réduction de la production de chaleur (14%) non significative était observée chez les chamelles exposées à 40°C. Dans la période de normohydratation, la prise d'eau atteignait 1.33% du poids corporel et puis augmentait à 19.12% en quelques minutes de rehydratation permettant aux animaux de recouvrir approximativement tout le poids perdu durant les 27 jours de déshydratation. La prise alimentaire était significativement réduite lorsque les chamelles atteignaient 15% de la perte du poids corporel avec une réduction maximale de 37% à 20%. Une amélioration progressive dans la digestibilité de la ration alimentaire était obtenue, en relation avec le niveau de la déshydratation, avec une augmentation de 20% à la fin de la déshydratation. La production totale de la chaleur des chamelles était significativement affectée au cours de la déshydratation avec une réduction de 39% quand les chamelles atteignaient une perte du poids corporel de 20%.

Le traitement par le stress thermique, n'affectait pas l'utilisation de nourriture et la production de chaleur des chamelles, mais ces dernières ont été touchées par le traitement de la déshydratation, cependant, sous les conditions de déshydratation, les chamelles ont été capables de maintenir leur appétit jusqu'à une perte du poids corporel de 15%, ont montré une amélioration de la digestibilité des aliments et ont permis à leur métabolisme fondamental de baisser. Ces adaptations métaboliques ont permis le maintien des chamelles sous un équilibre énergétique positif pendant la période de déshydratation.

SUMMARY

A series of calorimetric experimentation's were realised on five camels, to study the effect of the thermal stress and the dehydration on the utilisation of their food and their energy expense. During the experimentation of the thermal stress, animals were exposed to a temperature of 20°C (P1) during 24h then the temperature was increased to 40°C during 12h per day in a climatological room. The experimentation of the dehydration consisted of 7 days of normohydration (D1) followed by 27 days of dehydration (D2) and a period of rehydration of animals of 3 days (D3). During the two experimentation's, camels received 2kg grains of barley, 1 kg of straw and 50g of CMV to cover energy maintenance needs.

The quantity of feed intake and the digestibility were not affected by the thermal stress, while the quantity of water absorbed increased to 300%. A light reduction of the production of heat (14%) was observed at camels exposed to 40°C. In the period of normohydration, the quantity of consume water was 1.33% of the corporal weight and then in some minutes increased to 19.12% of rehydration allowing animals to cover approximately all the weight lost during 27 days of dehydration. The quantity of feed intake was significantly reduced when camels reached 15% the loss of the corporal weight with a maximal reduction of 37% to 20%. A progressive improvement in the digestibility of the feed ration was obtained, in connection with the level of the dehydration, with an increase of 20% at the end of the dehydration. The total production of the heat of camels was

significantly affected during the dehydration with a reduction of 39% when camels reached a loss of the corporal weight of 20%.

Thermal stress, did not affect the utilisation of feed and the production of camel heat, but these last was affected by the processing of the dehydration. However, under the conditions of dehydration, the camels which maintained their appetite until a loss of the corporal weight of 15%, showed an improvement of the digestibility of feeds and allowed their fundamental metabolism to decline. These metabolic adaptations allowed the maintenance of camels under a positive energy balance during the period of dehydration.

INTRODUCTION

Il a été démontré que la vie dans un environnement chaud avec un approvisionnement d'eau réduit peut être tolérée par plusieurs espèces de ruminants désertiques. Cependant, l'efficacité de tolérance varie selon les espèces. Sous les mêmes conditions environnementales, les bovins perdent l'eau trois fois et les brebis deux fois plus rapidement que les chamelles. La réduction de perte d'eau chez les chamelles est en relation avec leur capacité de permettre des variations importantes de leur température corporelle avec la possibilité de stocker la charge de chaleur reçue durant le jour chaud du désert et de la perdre par convection et radiation durant la nuit froide du désert. Les adaptations physiologiques aux conditions arides du désert peuvent affecter l'appétit et l'équilibre énergétique des chamelles. La présente étude était désignée pour étudier les variations possibles dans l'utilisation des aliments et les dépenses énergétiques des chamelles sous le stress thermique et la déshydratation.

MATERIEL ET METHODES

Cinq chamelles saines, âgées de 8 à 10 ans, étaient utilisées dans deux expérimentations traitant l'effet du le stress thermique et la déshydratation sur l'utilisation des aliments et leur métabolisme.

Durant l'expérimentation du stress thermique, les animaux étaient exposés à une température ambiante de 20°C dans une chambre climatique tous les jours de deux semaines (P1) et la température était augmentée à 40°C pour 12h par jour pour deux autres semaines (P2).

L'expérimentation de déshydratation consistait en 7 jours de normohydratation comme une période de contrôle (D1) suivie par 27 jours de déshydratation (D2) permettant aux animaux de perdre 20% du poids corporel, puis une période de rehydratation de 3 jours (D3) pour atteindre la prise d'eau expérimentée dans la période de contrôle. Pour les deux expérimentations, les chamelles recevaient 2kg de grains d'orge, 1kg de paille de blé et 50g de complément minérale et vitaminé (CMV), correspondant aux besoins énergétiques quotidiens d'entretien. A l'exception de la période de déshydratation, les chamelles avaient un accès libre à l'eau de boisson.

Avant le début de l'étude, les animaux étaient adaptés aux sacs de collecte des fèces et à la chambre climatique et calorimétrique. Des essais digestifs étaient réalisés durant une semaine par période et la consommation d'oxygène des chamelles était mesurée une fois en P1, P2, D1, D3 et trois fois en D2 (à 10%, 15% et 20% de la perte du poids corporel des chamelles).

L'alimentation était offerte aux animaux trois jours préalables et 7 jours durant les essais digestifs et le refus alimentaire était collecté et pesé quotidiennement pour déterminer la quantité d'aliment consommée. Les fèces étaient ramassées dans les sacs de collecte quotidiennement durant 7 jours successifs, pesés et 10% de la quantité totale était séchée et ajoutée au composé aliquote pour chaque animal. La matière sèche des fèces et d'aliment était déterminée par séchage des échantillons à 105°C pendant 24h, tandis que leurs teneurs en énergie brute étaient déterminées sur 1g d'échantillon dans une bombe calorimétrique.

La consommation d'énergie digestible (DE) était déterminée par soustraction de l'énergie fécale à partir de l'énergie consommée, alors que la consommation d'énergie métabolisable (ME) était estimée à partir de l'énergie digestible en utilisant l'équation donnée par le NRC (1975): $ME = DE \times 0.82$

Un système indirect de calorimétrie du type circuit ouvert était utilisé pour mesurer la consommation d'oxygène des chamelles pendant 24h par période et la production de chaleur (HP) était estimée en utilisant l'équation de Mc lean (1972):

$$HP \text{ (Kcal/jour)} = (O_2 \text{ in-out}) \times \text{Débit (STPD)} \times 4.89.$$

L'équilibre énergétique des animaux était déterminé par soustraction de la production de chaleur à partir de l'énergie métabolique. Les effets du stress thermique ou de la déshydratation sur la prise alimentaire, la digestibilité et la production de chaleur des chamelles était testés en utilisant le T test conjugué avec un niveau de signification de 5%.

Résultats et discussion

a. Les effets du stress thermique

Quand les chamelles ont été exposées à 40°C durant 12h/j, la prise d'eau a augmenté par une moyenne de 300% et le rapport entre la prise d'eau et la matière sèche atteignait trois fois le rapport observé à 20°C (Table 1). L'augmentation de la prise d'eau est attendue dans le but de remplacer la perte d'eau utilisée à dissiper la chaleur supplémentaire à travers le rafraîchissement évaporatif. Les chamelles ne montraient aucun changement significatif de la prise alimentaire et de la digestibilité sous les conditions du stress thermique (Table 1). Une réduction légère, mais non significative, de la production de chaleur (en moyenne de 14%) était trouvée sous le stress thermique ce qui a conduit à une légère amélioration du bilan énergétique (Table 2). Selon Wilson (1989), les charges de chaleur sur l'organisme à partir des hautes températures et des radiations directes sont intenses dans les zones désertiques et l'animal peut compenser par réduction de sa prise alimentaire et de son activité physique. Cependant, Maloïy (1973) rapportait que certains animaux, comme l'impala, l'oryx et les ovins adaptés aux zones arides sont capables de consommer plus de fourrage quand ils sont exposés à des températures élevées. D'autres espèces, y compris ovins, caprins et bovins ont montré des réductions de la prise alimentaire variables de 10% à 50%. À l'opposé de ces dernières espèces, la présente expérimentation montrait que la prise alimentaire et la production de chaleur des chamelles n'ont pas été affectées par le stress thermique. Ce résultat est une des indications majeures de la capacité des camelins d'être relativement productifs dans les zones chaudes car les espèces montrant une réduction dans la prise alimentaire et le métabolisme de base sous le stress thermique ne sont pas adaptés avec aucun potentiel pour la production.

Table 1 : L'effet du stress thermique sur la prise d'eau, la prise alimentaire et la digestibilité de la ration alimentaire.

	Température ambiante	
	20°C/24h	20°C/12h-40°C/12h
Prise d'eau(l/24h)	5.1 ± 1.3	15.9 ± 4.3
Prise alimentaire(kg/24h)		
-Grains d'orge	2.0 ± 0.0	0.78 ± 0.11
-Paille de blé	1.0 ± 0.0	
Digestibilité (%)	60.9 ± 0.54	61.3 ± 0.71

Table 2 : L'effet du stress thermique sur la production de chaleur et le bilan énergétique.

	Température ambiante	
	20°C/24h	20°C/12h-40°C/12h
Energie métabolisable (kcal/24h)	5.70 ± 0.81	5.67 ± 0.43
Production de chaleur (kcal/24h)	4.69 ± 0.52	4.03 ± 0.23
Bilan énergétique (kcal/24h)	1.02 ± 0.47	1.64 ± 0.31

b- Les effets de la déshydratation

Sous la température ambiante moyenne de 20°C, l'expérimentation de la déshydratation a duré 27 jours dans le but d'atteindre une réduction du poids corporel de 20% (Table 3). Une faible quantité d'eau était prise par les chamelles à travers les aliments (87% de la matière sèche). Dans la présente étude, les chamelles ont montré une perte de poids corporel avec une moyenne de 0.74% par jour ce qui est moins rapide aux pertes de 2%, 4% et 6% respectivement chez le chameau, la brebis et les bovins exposés à une température de 40°C le jour et 25°C la nuit (Siebert and Mc Farlane, 1975). Le taux de perte du poids corporel des chamelles a été variable avec le degré de déshydratation avec un taux de 0.8% les douze premiers jours de la déshydratation et de 0.68% les quinze derniers jours. Ceci peut être en relation avec les sources de perte de poids chez l'animal, comme il a été rapporté par McFarlane et al (1963), pendant la déshydratation l'eau de l'appareil digestif est perdue plus rapidement que l'eau intracellulaire et interstitielle. La prise d'eau en moyenne de 1.3% du poids corporel durant la période de normohydratation, a augmenté à 19.1% en quelques minutes de rehydratation permettant aux animaux de remplacer approximativement tout le poids perdu durant les 27 jours de déshydratation (Table 3). En raison de la large capacité de stockage de l'appareil digestif, les ruminants, en général, peuvent boire des quantités colossales

d'eau en un temps très court après une période de privation. Cependant, les bovins ne peuvent pas prendre tous leurs besoins en eau en une courte durée, principalement à cause des problèmes associés à l'hémolyse (Biance, 1970). Il y a plusieurs rapports dans la littérature au sujet de l'énorme capacité de prise d'eau des camelins après déshydratation et le pouvoir d'absorber toutes l'eau presque immédiatement dans le sang sans aucun signe d'hémolyse (Etzion et al., 1984). Les chèvres pourront aussi remplacer la perte d'eau rapidement en une seule prise. Cependant, à cause de l'hémolyse l'eau ne passe pas immédiatement dans le sang, mais reste pour une période considérable dans l'appareil digestif (Maltz and Shkolnik, 1980). La résistance à la déshydratation et la prise d'énormes quantités d'eau sont des mécanismes physiologiques adaptatifs en relation avec la flexibilité de mobilisation de l'eau à partir des différents compartiments de l'organisme que le camelin a développés pour la survie dans les zones sèches.

La prise alimentaire des chamelles et la digestibilité des aliments ont été affectées par la déshydratation. Le niveau de la prise a été maintenu avec 10% de déshydratation puis réduit par 27% et 37% respectivement à 15% et 20% de déshydratation. Durant la rehydratation, la prise alimentaire était 13% moins que celle enregistrée dans la période de normohydratation (Table 3). Une augmentation progressive de la digestibilité de la ration distribuée a été obtenue avec le niveau de déshydratation avec une moyenne de 18% d'augmentation à 15%, 20% de déshydratation et durant la période de rehydratation (Table 3). La réduction de la prise alimentaire était probablement en rapport avec une réduction du débit salivaire (Wilson, 1989) et/ou du taux de passage du digesta à travers l'appareil digestif chez les animaux déshydratés. A l'opposé de la plupart des espèces, la baisse de la prise alimentaire des chamelles n'est pas dramatique (avec 20% de déshydratation les chamelles ont été capables de consommer 63% de la ration). Une réduction de la prise alimentaire de 60% a été rapportée chez les ovins, caprins et les bovins (Moloiy, 1973). Il a été montré que le volume de la salive n'est pas un facteur limitant l'appétit des camelins sous une sévère déshydratation (Wilson, 1989). L'amélioration de la digestibilité des aliments au cours de la déshydratation, observée dans la présente étude, a été aussi rapportée dans la littérature et il est probable qu'il y ait deux raisons principales. L'une propose une réduction du débit urinaire chez les chamelles déshydratées ce qui augmente le recyclage de l'azote dans le rumen et beaucoup d'urée est fournie aux micro-organismes pour la fermentation et la synthèse microbienne. L'autre est en rapport avec la réduction du taux de passage du digesta dans le tube digestif en mettant beaucoup de temps pour la fermentation dans le rumen et la digestion et l'absorption dans les intestins.

Table 3: Perte de poids des chamelles, prise d'eau, prise alimentaire et digestibilité de la ration au cours de l'expérience de déshydratation.

	Degrés de déshydratation(%)				
	0	10	15	20	0
-Perte de poids en % du poids en normohydratation	100	90.36	85.25	80.22	99.26
-Prise d'eau(l/24h)	5.0	0.0	0.0	56.5	4.9
-Prise alimentaire (Kg/24h)	3.0	3.0	2.2	.9	2.6
-Digestibilité (%)	61.0	65.3	74.2	73.7	75.0

La production totale de chaleur a été réduite durant la déshydratation par 17%, 23% et 39% respectivement avec les niveaux de déshydratation de 10%, 15 et 20% ensuite elle a augmenté durant la rehydratation au niveau observé dans la période de normohydratation (Table 4). Il est bien connu que la prise alimentaire induit une augmentation de la production de chaleur supplémentaire au métabolisme de base (la thermogénèse postprandiale) et peut être la réduction dans la production de chaleur, observée durant ce travail, n'était qu'une réponse à la diminution dans le niveau alimentaire des animaux durant la déshydratation. Cependant, il a été montré que chez les chamelles normohydratées ; recevant les besoins énergétiques d'entretien, une réduction par 50% du niveau de la prise alimentaire induisait une baisse dans la production de chaleur de 10% seulement (Guerouali et al, 1993). Par conséquent, la réduction de la production de chaleur (39% à 20% de déshydratation) ne peut pas être totalement expliquée par la réduction de la prise de nourriture. Par soustraction de l'effet de réduction de la prise alimentaire sur la production de chaleur, il apparaît que la déshydratation seule était responsable pour les 2/3 de la réduction de la production de chaleur. Chez les camelins déshydratés, les considérations de la conservation de l'eau dans l'organisme sont importantes. Alors, il est probable qu'une réduction du turnover de l'eau et/ou du rafraîchissement évaporatif observés chez les chamelles (Schmidt-Nielsen, 1964) étaient derrière la réduction de la production de chaleur. La réduction de la production de chaleur a permis aux chamelles de se maintenir en bilan énergétique positif pendant la période de déshydratation (Table 4). Par conséquent, aucune énergie de réserve corporelle n'a été mobilisée pour faire face aux besoins énergétiques des animaux et probablement toute la perte

du poids corporel observée durant la déshydratation était juste à partir des compartiments liquidiens de l'organisme.

Table 4: Variation de la production de chaleur et du bilan énergétique au cours de l'expérience de déshydratation

	Degrés de déshydratation(%)				
	0	0	10	15	20
-Energie (kcal/24h) métabolisable	5.71	6.09	5.11	3.67	6.06
-Production de chaleur(kcal/24h)	5.35	4.45	4.14	3.31	5.16
-Bilan (kcal/24h) Energétique	0.36	1.64	0.97	0.36	0.9

Conclusion

Le traitement du stress thermique appliqué dans la présente étude n'a montré aucun changement dans la prise alimentaire, la digestibilité et la production de chaleur des chameilles, ce qui indiquerait que cet animal est bien adapté à la chaleur et peut être productif dans les zones arides à l'opposé de plusieurs autres espèces.

Sous la privation d'eau, les chameilles ont pu maintenir leur appétit et une amélioration de la digestibilité des nourritures a été observée. La déshydratation a été derrière la réduction du métabolisme de base et des ajustements métaboliques ont été opérés par l'animal pour sauvegarder l'énergie et l'eau corporelles. Ces adaptations métaboliques ont permis aux chameilles de rester sous un bilan énergétique positif pendant la période de déshydratation.



SESSION 6 :

SOCIO-ECONOMIE ET DEVELOPPEMENT

Modélisation des dynamiques sociales et écologiques en matière de désertification (<i>F. Sandron</i>).....	385
Aridité et développement : un enjeu démo-écologique difficile : l'exemple du Nefzaoua (<i>Tunisie</i>) (<i>M. Picouet, M. Sghaier</i>).....	388
Les politiques d'aménagement hydro-agricole au Sahara maghrébin : approche comparée (<i>A. Kassah</i>).....	396
Allocation optimale des ressources en eau non renouvelables dans les systèmes de production oasiens en zones arides (<i>M. Sghaier, L. Martens, G. Huylebroek, M. Ben Said</i>).....	402
Impact du commerce informel sur le milieu rural en Tunisie. Etude de cas : la dynamique transfrontalière Tuniso-Lybiennne (<i>K. Laroussi</i>)	418
L'oasis d'In Belbel en pleine mutation (<i>I. Kobori, A. Ben khalifa</i>).....	427
Le Projet de Rjim Maâtoug, une expérience tunisienne de développement durable en zone aride (<i>Le Colonel A. Meftah</i>).....	432
Systèmes de production et politique de développement dans la délégation d'El Hamma Gabès (<i>Sud tunisien</i>) (<i>A. Romdhane</i>).....	445
Les approches participatives pour l'amélioration des techniques traditionnelles de conservation, de gestion et d'exploitation des eaux et des sols en zones arides "jessour", "majels" et "fsaguis" (<i>N. Nasr, M. Sghaier, B. Chehbani</i>).....	456
Pour un partenariat dans la réhabilitation des Jessour en zones arides : Cas du bassin versant d'Oued Kef-cherch (Douiret, Tataouine) (<i>F. Laffet, K. Azeq, M. Ouassar</i>).....	465
Dynamique des systèmes agro-pastoraux et développement en zones arides (<i>A. Abaab, N. Nasr</i>).....	474
Dynamique sociale et désertification : Le cas de Menzel El Habib (<i>L. Auclair, Ch. M. Auclair, E. Delattre, J. Gardin, F. Sandron</i>).....	481

MODELISATION DES DYNAMIQUES SOCIALES ET ECOLOGIQUES EN MATIERE DE DESERTIFICATION

Frédéric SANDRON

Démographe, Chargé de Recherche ORSTOM Tunis

Adresse: ORSTOM, BP 434, 1004 EL MENZAH

RESUME

Nous faisons le point sur la connaissance des processus anthropiques en matière de désertification en prenant comme illustration la région de Menzel Habib (Tunisie). Nous montrons ensuite comment ces acquis pourraient être un point de départ à une modélisation spatiale visant à quantifier les interactions entre les sociétés humaines et les systèmes écologiques.

Mots clés : désertification, relation population-environnement, modélisation.

SUMMARY

This paper gives a brief overview of human-induced desertification in the special case of Menzel Habib (Tunisia). We show how this knowledge would be a starting-point for a spatial modelling including both ecological and human factors.

1. INTRODUCTION

Les processus anthropiques de la désertification sont maintenant bien connus. Dans la région de Menzel Habib, en Tunisie, plusieurs programmes d'études et de recherche ont permis une approche assez fine des interactions entre les dynamiques sociales et écologiques. En revanche, peu d'études quantitatives et encore moins de modèles ont été élaborés jusqu'à maintenant sur ces processus conjoints. Nous proposons un type de modélisation qui intègre l'espace et la statistique pour mieux comprendre le phénomène anthropique de la désertification.

2. Aspects anthropiques généraux de la désertification

Croissance de la population et évolution technologique sont les maux qui reviennent le plus couramment dans la littérature pour expliquer la désertification. L'idée implicite sous-jacente à cette assertion est que la « modernité » et son cortège de transformations ont bouleversé l'équilibre ancien entre l'homme et son écosystème. C'est oublier un peu vite les crises aiguës (famine, pandémies, guerres conquérantes...) qu'ont connues les populations du passé.

En Tunisie, selon FAKHFAKH [1991], la dégradation du milieu naturel est survenue dès la fin de l'empire byzantin, consécutivement au déclin du système politique, économique et technique en vigueur, qui avait permis jusqu'alors un certain équilibre entre l'homme et les systèmes écologiques. En effet, les Romains avaient effectué des travaux d'aménagement et de protection qui avaient atténué les implications de l'exploitation des forêts et de la mise en culture de nombreuses terres.

Au cours des dernières décennies, le problème de la désertification se pose en termes nouveaux eu égard à la prise de conscience du phénomène au niveau planétaire. On estime ainsi que le tiers des zones arides (12% des terres du globe) sont sévèrement dégradées et que 75.000 tonnes de sol se perdent annuellement [LE HOUEROU 1994].

Les causes anthropiques de la désertification sont maintenant bien connues. On peut citer principalement [AKRIMI & ABAAB 1991]:

- La mise en culture de terres à vocation pastorale
- L'utilisation de matériel de travail du sol non approprié
- Le surpâturage
- Les prélèvements de bois de feu à usage domestique.

La question que l'on se pose naturellement est la suivante: comment se fait-il que les connaissances accumulées ne permettent-elles pas l'endigement du phénomène ? (DI CASTRI [1990] parle à cet égard de « tragique paradoxe »). D'abord, il faut voir que les mesures sectorielles et ponctuelles, préconisées à la suite de

travaux très spécialisés, se sont soldées par des échecs [LE HOUEROU 1994]. Ensuite, l'information auprès des décideurs et des acteurs locaux n'a pas toujours été diffusée. Et même lorsque cela fût fait, les pouvoirs publics ont-ils la volonté et les moyens de mettre en oeuvre les solutions préconisées ? Il faut bien comprendre la nature complexe du phénomène de la désertification. S'il est causé majoritairement dans une zone par le surpâturage, les autorités locales peuvent interdire purement et simplement le passage du bétail, ce qui est effectivement appliqué en Tunisie: c'est la mise en défens. Mais de quoi vivent ensuite les paysans ? S'il doivent mettre en culture des terres pour compenser le manque à gagner avec le bétail ou s'ils doivent migrer, le prix de cette mesure est-elle justifiée ? Enfin, une autre raison expliquant la progression de la désertification est peut-être que les processus anthropiques de la désertification ne sont connus que de manière générale et pas assez finement sur des zones précises, très variées dans leur diversité, sur lesquelles des aménagements sont envisagés.

Pour développer le dernier argument, nous présentons maintenant le cas d'une zone précise située dans le Sud tunisien, près de Gabès et d' El Hamma.

3. Aspects anthropiques de la désertification à Menzel Habib

Située dans le gouvernorat de Gabès, la zone de Menzel Habib s'étend sur environ 115.000 ha [FLORET & Al. 1991]. Le climat y est méditerranéen aride inférieur, l'agriculture y est possible les années pluviométriquement favorables.

Le territoire de Menzel Habib est celui de la tribu des Beni Zid, vraisemblablement présente dans le secteur depuis au moins six siècles [BADUEL 1984]. Jusqu'au début de ce siècle, les Beni Zid avaient un mode de vie nomade, ce sont avant tout des éleveurs. Au cours des mauvaises années, nombre d'entre eux migraient vers le Nord pour exporter leur force de travail.

Au cours du vingtième siècle, que ce soit pendant la colonisation ou après l'Indépendance, la politique en vigueur a été de sédentariser les nomades et de privatiser les terres. Face à un statut juridique à la fois flou et complexe, la privatisation des terres dans la région s'est faite par une sorte de fait accompli: la mise en culture d'icelles. Emblaver régulièrement une terre permettant de mieux se l'approprier que d'y faire paître des animaux, cette pratique devint courante à partir des années 1970, même lorsque les conditions climatiques ne s'y prêtaient pas. Or l'on sait quelles sont les conséquences en termes d'érosion éolienne de la mise en culture de terres lorsque la pluviométrie est insuffisante.

En 1982, Menzel Habib devient une délégation et donc accède à des services et structures urbains qui vont accélérer l'insertion de la production locale dans une économie de marché.

Sur le plan démographique, la zone de Menzel Habib est caractérisée par un phénomène de mobilité spatiale très forte. Eu égard à la croissance de la population, aux mutations socio-économiques et foncières évoquées, une part de la population ne réside que ponctuellement à Menzel Habib. Elle y possède encore des terres, vient les emblaver lorsque les conditions climatiques le permettent, mais réside à El Hamma, grande agglomération voisine. De nombreuses habitations vides à Menzel Habib viennent frapper l'oeil de l'observateur qui s'y aventure en période de sécheresse.

En résumé, les aspects fonciers et la déstructuration sociale et économique du mode de vie traditionnel des Beni Zid apparaissent comme les causes anthropiques profondes les plus importantes sur le phénomène de la désertification à Menzel Habib.

4. Perspectives de modélisation de l'impact anthropique sur la désertification

Pour remédier au tragique paradoxe, précédemment évoqué, DI CASTRI [1990] souligne l'importance des progrès de la modélisation, de la télédétection et d'une surveillance continue en matière de désertification pour appliquer les résultats des nombreuses recherches menées durant les dernières décennies. Dans cet esprit, le programme DYPEN* (« Dynamique Population Environnement ») propose un suivi des dynamiques socio-éco-démographiques en relation avec l'étude de la désertification sur la zone de Menzel Habib.

La première phase, commencée en 1996, a consisté en la réalisation de 600 enquêtes de ménages résidents à Menzel Habib (ou à El Hamma mais ayant des terres à Menzel Habib). Le questionnaire évoquait les aspects socio-économiques, démographiques, agricoles et l'utilisation des ressources naturelles. Le concept-clé appréhendé ici est celui des stratégies familiales.

* Le programme DYPEN associe l'Institut des Régions Arides, l'Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka, l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne, le Commissariat Régional de Développement Agricole de Siliana, le Laboratoire Population Environnement de l'Université de Provence et l'ORSTOM de Tunis. Le programme DYPEN-SUD est dirigé par l'Institut des Régions Arides.

De ces questionnaires et d'autres sources d'information, comme les administrations locales, seront tirés des indicateurs calculés au niveau de l'imada (sous-division de la délégation), puis intégrés dans une base de données à référence spatiale. Le même type de travail sera effectué sur le milieu écologique avec l'aide de méthodes de terrain et de la télédétection. Ensuite, une correspondance entre indicateurs concernant les affaires humaines et indicateurs du milieu naturel sera établie.

A partir de cette base de données, deux types de traitement sont envisagés. Le premier est la mise en évidence de la présence ou de l'absence de corrélation entre deux ou plusieurs variables (par exemple: la désertification est-elle directement liée à l'augmentation de la densité de la population ?). La seconde méthode, plus longue à mettre en oeuvre, consiste à modéliser spatialement le phénomène de la dynamique de la désertification en rapport avec les dynamiques sociales en créant des classes de stratégies familiales et d'utilisation du milieu. L'ambition de l'outil réalisé sera de dépasser le simple SIG (Système d'Information Géographique) qui, pour l'instant, permet peu l'intégration des analyses spatiales dynamiques.

5. Conclusion

En tirant conjointement parti des résultats acquis dans les sciences écologiques et dans les sciences sociales, en modélisant les impacts anthropiques à une échelle locale, nous espérons mieux comprendre le phénomène de désertification. Et mieux comprendre la désertification, c'est mieux la prévoir pour mieux la combattre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akrimi N. & Abaab A. [1991] « Données générales sur la désertification en Tunisie », *Revue des Régions Arides*, n° spécial, pp.9-13.
- Baduel P.-R. [1984] « L'intégration nationale des pasteurs pré-sahariens (Tunisie) », in BADUEL P.-R. (Ed.) « Enjeux sahariens », Editions du CNRS, Paris, pp.393-420.
- Di Castri F. [1990] « Enrayer la progression de la désertification : un enjeu mondial », *La Recherche*, vol.21, n°221, pp.638-643.
- Fakhfakh M. [1991] « Pour une meilleure pratique de la lutte contre la désertification », *Revue des Régions Arides*, n° spécial, pp.51-55.
- Floret & Al. [1991] « Etude de l'impact des actions de développement et de la lutte contre la désertification », Ministère de l'Agriculture, PNUD, Rapport final du projet TUN / 88 / 004, 104 p.
- Floret C., Le Floch E., Pontanier R. [1986] « La désertisation en Tunisie présaharienne », *Revue de l'Occident Musulman et de la Méditerranée*, n°41-42, pp.291-326.
- Le Houerou H.N. [1994] « Désertification et désertisation: fautes humaines ou fatalités climatiques », *Tous*, n°7.

ARIDITE ET DEVELOPPEMENT UN ENJEU DEMO-ECOLOGIQUE DIFFICILE L'EXEMPLE DU NEFZAOUA

Michel PICOUET (Orstom)
Mongi SGHAIER (IRA)

RESUME

Le Nefzaoua est engagé depuis plusieurs décennies dans un processus de mise en valeur de grande ampleur, qui mise sur l'exploitation des nouvelles ressources en eau et le développement des périmètres irrigués. La modernisation sociale (éducation, activité, confort domestique, etc) et économique (mécanisation, ouverture aux marchés intérieur et extérieur, réorientation et diversification des activités) s'est amplement diffusée sous l'impulsion de l'Etat, accompagnant une politique active de sédentarisation des nomades. Ces évolutions ont eu un impact majeur sur les pratiques d'usage du milieu et sur les dynamiques sociales et familiales. Le recul de la précarité, l'émergence et l'extension des critères de rentabilité instituent ainsi des besoins nouveaux, qui pèsent d'une manière très électorale sur les ressources disponibles. La désertification s'est accentuée autour des points de sédentarisation, les ressources artésiennes se sont amenuisées ou salinisées, entraînant une extraction plus active des eaux souterraines. Ces phénomènes n'ont pas encore un caractère de gravité suffisant pour obérer les actions de mise en valeur, elles déterminent, cependant, des tendances socio-économiques dont certaines sont irréversibles, comme par exemple la fin du pastoralisme de grand parcours, d'autres émergences comme l'accroissement des conflits d'intérêt entre les différents usages des ressources en eau, le développement de production d'exportation (deglat-nour), etc. Tout conduit à s'interroger sur la pérennité de ces processus. Tendront-ils à un équilibre démographique durable, où sont-ils les prémices de futures situations précaires irréversibles, que relativiserait la prospérité actuelle ? Prendre la mesure de ces enjeux, implique de connaître la nature de ces relations à diverses échelles de temps et d'espace, d'identifier les interactions déterminantes sur lesquelles il est encore temps d'agir. Le champ d'études est vaste et complexe. Dans l'étude DYPEN, menée par un collectif de recherches pluridisciplinaire ¹, nous avons abordé ces phénomènes par l'analyse des pratiques d'usage du milieu en fonction de l'état des ressources, les reliant aux dynamiques sociales et démographiques existantes, les confrontant aux systèmes de production. A cet effet nous avons mis en place un système d'observation suivie permettant la construction d'indicateurs interface « activités humaines-milieu » avec comme objectif une « veille opérationnelle des dysfonctionnements émergents. Nous présentons ici l'observatoire Population-environnement d'El Faouar et les premiers résultats de ces recherches.

SUMMARY

Since several decades the Nefzaoua is committed in a process of development of great extent, based on the exploitation of new water resources and the development of irrigated area. The social modernisation (education, domestic comfort, etc.) and economic (mechanisation, opening to market and reorientation and diversification of activities) has amply distributed under the impetus of the State, accompanying an active policy of sedentarisation of nomads. These evolution have had an impact major on practice them usage of the middle and on family and social dynamics. The recession of the precariousness, the emergence and the extension of profitability criteria institute thus new needs, that weigh with a manner very selective on available resources. The desertification has emphasised around from points of sedentarisation, water resources extraction have dwindled or salted, entailing a more active extraction of underground water. These phenomena have not again a character of gravity sufficing to burden actions of development, they determine, however, socio-economic trends whose some are irreversible, as for example the end of the pastoralisme of great course, others emergencies as the increase of conflicts of interest between the different uses of water resources, the development of export production (deglat-nour), etc. All pipe to wonder the durability of these process. Where are they the premices of future irreversible precarious situations, that relative the current prosperity ? To take the measure of these risks, implies to know the nature of these relationships to various time and space scales, to identify main interactions on which it is again time to act. The field of studies is vast and complex. In the study DYPEN, led by a collective of recherches pluridisciplinary. The collective of research DYPEN regroups next institutions : IRA (Arid Region Institute), ISPT (Institute Sylvo - Pastoral of Tabarka), School of Agriculture of Mograne, CRDA of Siliana, CNT (National Center of Teledetection), CREDIF-TUNIS, LPE (Laboratory Population Environment of Marseilles), the ORSTOM.

¹ Le collectif de recherches DYPEN regroupe les institutions suivantes : IRA (Institut des Régions Arides), ISPT (Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka), Ecole d'Agriculture de Mograne, CRDA de Siliana, CNT (Centre National de Télédétection), CREDIF-Tunis, LPE (Laboratoire Population Environnement de Marseille), l'ORSTOM.

We have approached these phenomena by the analysis of practice them usage of the middle according to the state of resources, connecting them to existent demographic and social dynamics, confronting them with systems of production. To this end we have put in place a steady observation system allowing the construction of interface indicators "human - nature as objective a "operational of the dysfonctionnements emergent. We present here the observatory Population -environment of El Faouar and the first results of these researches.

INTRODUCTION

Le Nefzaoua est engagé depuis plusieurs décennies dans un processus de mise en valeur de grande ampleur, qui mise sur l'exploitation des nouvelles ressources en eau et le développement des périmètres irrigués. La modernisation sociale (éducation, activité, confort domestique, etc.) et économique (mécanisation, ouverture aux marchés intérieur et extérieur, réorientation et diversification des activités) s'est amplement diffusée sous l'impulsion de l'Etat, accompagnant une politique active de sédentarisation des nomades. Ces évolutions ont eu un impact interactif majeur sur les pratiques d'usage du milieu et sur les dynamiques sociales et familiales. Les mutations sociales et économiques éloignent peu à peu les populations de la gestion parcimonieuse du milieu, qui constituait le fondement de leur société. Le recul de la précarité, l'émergence et l'extension des critères de rentabilité instituent ainsi des besoins nouveaux, qui pèsent d'une manière très sélective sur les ressources disponibles. Le désertification s'est, en effet, accentuée autour des points de sédentarisation, les ressources artésiennes se sont amenuisées, entraînant une extraction plus active des eaux souterraines. Ces phénomènes n'ont pas encore un caractère de gravité suffisant pour obérer les actions de mise en valeur, elles déterminent cependant des tendances socio-économiques dont certaines irréversibles, comme par exemple la fin du pastoralisme de grand parcours, d'autres émergentes comme le développement de l'agriculture familiale vers des produits d'exportation (deglat-nour), de la monétarisation des budgets familiaux et l'accès aux circuits commerciaux, de la compétition économique pour la maîtrise de l'eau, etc.

Tout conduit à s'interroger sur la pérennité de ces processus, tendront-ils à un équilibre démo-écologique durable, où sont-ils les prémices de futures situations précaires irréversibles, qui relativiseraient la prospérité actuelle? Les conséquences des mutations socio-économiques sur le milieu sont, en effet, très complexes, de même les répercussions de l'état de dégradation sur l'usage des ressources naturelles. La disparition progressive du couvert végétal de la steppe environnante condamne à terme les activités pastorales et extractives, réduisant les revenus des populations qui continuent de les exercer. L'accroissement de la demande en eau par le développement rapide des périmètres irrigués entraînent un surexploitation des nappes profondes aggravant les conflits d'intérêt entre les différents types d'usage de cette ressource (agricole, tourisme, urbanisation). La richesse nouvelle liée à ces activités ne se distribue pas d'une manière égale entre toutes les couches de la population, qui fait l'expérience de nouveaux rapports socio-économiques.

Dans ces évolutions, nous avons cherché à identifier l'influence des recompositions sociales et familiales actuelles sur l'adoption plus ou moins rapide de techniques de production ou d'activités moins directement liées au milieu environnant, différencier dans ce contexte les stratégies sociales des groupes domestiques. Voir, dans quelle mesure, l'évolution du milieu interfère sur ces stratégies, implique de nouvelles dynamiques sociales ou la disparition progressive de certaines d'entre elles. Pour ce faire, nous avons établi un diagnostic de l'impact des activités humaines sur l'environnement en termes de perturbations sur la structure et le fonctionnement de l'écosystème de cette région, cherchant en parallèle les indicateurs propres à expliquer, en termes de reproduction sociale et familiale, l'usage des ressources naturelles. Nous avons élaboré, à cet effet, un interface Ménages-Environnement (TME), sur la base d'une typologie classifiant les ménages selon les «relations» qu'ils entretiennent avec le milieu (systèmes de production-activités agricoles; systèmes d'usage-pastoralisme, activités extractives). Cet outil a servi de filtre discriminant à l'analyse des variables socio-démographiques, recueillies par enquêtes directes auprès des ménages.

Cette étude a été réalisée dans le cadre de recherches menées depuis 1989 sur «Dynamique de population et évolution des milieux naturels» par le collectif de recherches DYPEN groupant l'IRA (Institut des Régions Arides), l'ISPT (Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka), l'Ecole d'Agriculture de Mograne, le CRDA de Siliana, le CNT (Centre National de Télédétection), le CREDIF-Tunis, le LPE (Laboratoire Population Environnement de Marseille), et l'ORSTOM.

1 - Le contexte de la problématique environnementale

Un phénomène de désertification en milieu saharien dans un contexte de sédentarisation des populations nomades et de développement des périmètres irrigués

Le peuplement

L'histoire récente de cette région est liée à la sédentarisation des nomades, dont l'aire de transhumance s'étendait au delà des frontières algérienne et libyenne. A l'exception des grands oasis du Nord (Kebili, Douz), les lieux d'hivernage - autour de quelques palmiers et d'une source artésienne - constituaient l'essentiel de l'implantation humaine. Selon l'expression de Moreau(1), les Ghribs furent les «derniers vrais nomades du sud tunisien», les derniers à être sédentarisés. Les autres groupes : semi-nomades ou sédentaires-transhumants,

profitèrent assez vite des premiers forages (1949), développant les périmètres irrigués, construisant de véritables petites villes autour des oasis naissantes. L'action volontariste de l'Etat avec le développement des périmètres irrigués, des infrastructures et des équipements publics (écoles, dispensaires, administrations, etc.), accélère le processus de sédentarisation entamé sous l'administration coloniale. Au début des années 1980, la quasi totalité des nomades sont fixés autour de El Faouar, petit oasis qui s'est développé dans les années soixante dix après la création d'un nouveau forage et de Regim Maatoug, front pionnier à la frontière algérienne, créé à la suite du Plan Directeur des Eaux du Sud (PDES). Ce complexe va se révéler un site privilégié de fixation des Ghribs, alors que El Faouar regroupe différentes tribus Sabria, Merazigue, Ouled Yacoub, Ghrib, avec cependant une prédominance forte des Sabrias.

Le milieu

En bordure du chott El Jerid, la région du Nefzaoua est désertique avec une pluviosité inférieure à 100 mm de pluie annuelle. Sa géomorphologie principale est celle de dunes mobiles et de dunes d'obstacle (nebkhas) retenues par la végétation mais souvent dégradées aux abords des villages. Le climat s'inscrit dans l'étage bioclimatique méditerranéen-saharien, sous-étage supérieur variante à hiver froid. Les précipitations sont rares et inégales (15 à 20 jours de pluie annuellement), elles sont souvent orageuses et dangereuses pour les cultures. Les gelées sont fréquentes et préjudiciables aux primeurs. Les vents constituent l'un des éléments les plus déterminants du climat de la région par leur force (souvent plus de 100 km/h.) et leur fréquence (un jour sur trois). Le vent maritime de l'Est et Nord-Est (Behri) a une action positive, le Gharbi froid souffle de l'Ouest surtout en Hiver, violents ces vents se transforment souvent en tempêtes de sables très contraignantes pour le milieu et les hommes. Le sirocco (Chelili) souffle de juin à août; violent, très chaud, il accentue l'évapotranspiration, élève la température, brûle les plantations.

Les oasis avec leurs différents étages de végétation forment un micro-climat tout à fait différent du milieu environnant. La température peut y être plus basse de plusieurs degrés, l'humidité plus élevée, la violence des vents moins ressentie, tout ceci dépend de l'intensité de la couverture arboricole. Le tarissement de nombreuses sources naturelles, la baisse des nappes phréatiques et leur salinisation a été la cause et la conséquence de l'exploitation croissante des eaux souterraines. L'hydrogéologie est devenue la base de toute la vie du Nefzaoua. Les forages s'alimentent principalement dans la nappe campanienne (profondeur 30 à 300 m), dans la nappe turonienne de la presqu'île de Kébili et dans la nappe du continental intercalaire située à une très grande profondeur (plus de 1000 m). Cette nappe concerne tout le sud tunisien, mais également l'Algérie et la Lybie. L'exploitation se situe autour de 8000 l/s, largement au dessus du quota d'exploitation assigné au Nefzaoua. Toutes ces eaux sont relativement chaudes. Les sols principalement halomorphes et calcomagnésimorphes sont fortement dégradés par la formation de pellicules de compactation due à l'effet des pluies, l'érosion hydrique et éolienne, avec augmentation des superficies de sols bruts d'apport éolien et salinisation des dépressions et des périmètres irrigués. Le couvert végétal naturel, rare tend à disparaître autour des oasis en raison du surpâturage et des activités de charbonnage.

Malgré ce climat rude aux contraintes multiples, la présence des eaux souterraines a permis une mise en valeur agricole importante, notamment avec le développement de la phoeniculture (deglat nour). A l'exception de quelques grandes propriétés, la structure foncière des exploitations est très morcellée et la commercialisation est monopolisée par des investisseurs privés des grandes villes tunisiennes, (Allard, 1993). La politique de sédentarisation des nomades a cumulé ses effets avec l'attrait des nouvelles possibilités d'exploitation sur une partie des populations voisines pour provoquer une croissance de population importante. La région montre ainsi une croissance de l'ordre de 3,8 % par an au cours de la période 1975-1984. El Faouar, siège d'importants projets de développement connaît un taux de 5,8 % par an, décuplant sa population en vingt ans (1000 habitants en 1970, plus de 10000 en 1994).

En moins d'une génération, le mode vie dans le Nefzaoua a subi d'importants changements, sans pourtant réduire les différences entre les derniers nomades sédentarisés (les Ghribs) et ceux qui l'ont été dans la première période du processus au début des années cinquante (les Sabrias). L'appartenance tribale est encore très vivace distinguant bien, les différences formes des activités pastorales qui prévalaient dans cette région, nomade, semi-nomade, sédentaire-transhumant. La co-existence des modes d'exploitation traditionnelles et des techniques nouvelles, de l'expérience affirmée des uns et de l'apprentissage de la vie sédentaire des autres, ne va sans quelques aléas au niveau de l'entretien des périmètres et de leur capacité de production.

Le dynamisme démographique

La dynamique démographique est forte avec un potentiel de croissance élevé, qui explique la persistance de l'émigration. La structure par âge de la population montre, en effet, l'influence d'une forte fécondité, de l'accroissement de l'espérance de vie et de l'émigration. L'importance de la population des moins de 15 ans, nettement au dessus de la moyenne nationale, n'a pratiquement pas changé depuis 1966, (47 % de la population totale), de même pour la population des plus de 60 ans qui regroupe près de 8 % de la population. Ce poids des anciens est le résultat à la fois de la baisse de la mortalité et de l'importance des retours des émigrés au moment de leur retraite.

Quelques indicateurs

La faiblesse du célibat définitif (quasi inexistant après 45 ans), l'âge au mariage (26,7 ans pour les hommes, 22,2 ans pour les femmes) indiquent une nuptialité bien plus précoce et plus élevée que le reste du pays, ces facteurs, associés à une faible diffusion de la contraception, vont dans le sens du maintien d'une forte fécondité. La parité moyenne des femmes au Nefzaoua est, en effet, à tous les âges supérieure à celle des femmes tunisiennes; que la comparaison porte sur l'ensemble du pays ou sur la population rurale. En fin de période de procréation, elle atteint 7,36 enfants par femme contre 6,53 enfants pour la Tunisie et 6,94 enfants pour la Tunisie rurale. L'indice synthétique de fécondité est de 2 points supérieur à celui du pays (6,1 enfants par femme contre 4,1) et près de deux fois supérieur à celui de la région du Nord septentrional. La taille moyenne des familles est supérieure à 7 personnes. L'analphabétisme est encore à un niveau élevé, malgré une baisse progressive qui a fait baisser son niveau à 41 % (29 % pour les hommes et 52 % pour les femmes - Enquête Nationale de Population Emploi de 1989). la pluri-activité est largement répandue, 47 % s'y adonnent, dont la moitié dans des activités non agricoles.

L'émigration du Sud est ancienne, organisée par la communauté d'origine tant sur les aspects financiers que familiaux; généralement, elle n'implique pas de transfert de la reproduction familiale et concerne surtout des individus et non des familles comme on l'observe dans les régions rurales du Nord. Malgré le développement économique de la région, le sous-emploi dans les oasis reste élevé, sans atteindre cependant les niveaux maximum observés dans le pays. Les 2/5 des actifs le sont dans l'agriculture. L'habitat urbain est de type traditionnel en dur (99 % du parc) et les habitations sont au 2/3 équipées de cuisine et pour la moitié d'entre elles d'un cabinet d'aisance. La principale source d'énergie est fournie par le gaz en bouteille (89 % des ménages) et l'électricité.

2 - L'impact des activités humaines sur le milieu

Le passage d'une société essentiellement pastorale à une société agricole aux activités polyvalentes, la modernisation générale du pays, ont fait rapidement évoluer les comportements énergétiques et les pratiques d'utilisation du milieu. Cette évolution ne s'est cependant pas accompagnée d'une moindre charge sur les ressources naturelles. Les aires d'utilisation ont diminué, mais leur concentration autour des implantations de peuplement ont aggravé la dégradation.

Les activités pastorales.

Plus de 60 % des zones de pâturages anciennement parcourues sont aujourd'hui abandonnées; auxquels s'ajoutent 10 % de perte par l'extension des périmètres urbains. Le restant des parcours sont appréciés comme «faiblement riche à dégradé» par les derniers grands éleveurs pastoraux. Cette situation ne cesse de s'aggraver, entraînant une baisse considérable des troupeaux avec un changement important dans les pratiques d'élevage. A terme, la raréfaction des ressources végétales appétibles sera telle qu'aucune activité pastorale sera possible. Déjà, une grande partie des pasteurs se sont transformés en éleveurs introduisant la part du fourrage et des concentrés dans l'alimentation du bétail, d'autres se sont reconvertis vers des activités économiques différentes (tourisme, services, bâtiments). La charge animale sur le milieu a donc changé de nature, elle a certainement diminué, mais elle s'exerce d'une manière plus sélective entamant les dernières réserves de la steppe, renforçant le processus de désertification.

L'extraction du bois

Favorisé par le gouvernement, l'usage du pétrole et du gaz s'est répandu, couvrant la plus grande partie des besoins en cuisine. Le régime alimentaire s'est transformé avec la consommation croissante de produits manufacturés (surtout pâtes; en revanche, on continue à avoir recours au bois de feu pour la préparation quotidienne du pain traditionnel (ftaira, ou tabouna) et au charbon de bois pour la préparation du thé. En hiver, le bois de feu et le charbon de bois restent pour beaucoup de ménages le seul moyen de chauffage. La consommation de bois est de 2 tonnes par ménages et par an, celle du charbon de bois de 350 Kg. Ces chiffres sont inférieures à ceux que l'on peut relever dans le Nord du pays, mais en raison de l'augmentation de la population, ils demeurent trop importants pour les possibilités du milieu. En effet, la quasi totalité du bois de feu est collectée directement par les ménages sur la steppe environnante (à peine 20 % sont achetés à des revendeurs). La raréfaction du combustible, les distances à parcourir font que l'extraction, autrefois à la charge des femmes, est confiée maintenant aux hommes (Zaafouri M. et Reguig M, 1995). Sévèrement réprimé, le charbonnage illicite reste malgré tout une activité importante et lucrative. On estime la production à 500 tonnes par an (Auclair L,Zaafouri M., 1996)

L'utilisation de la steppe environnante

Les études réalisées sur la steppe environnante d'El Faouar montre que le champ d'action de l'extraction s'étend jusqu'à 50 km autour de l'oasis. A l'est de l'oasis, la strate arbustive a quasiment disparu; dans la périphérie proche, les arbustes sont épargnés et les coupes sont plus ou moins sélectives (probablement en raison de la présence efficace des services forestiers), en revanche au delà de 10 km, les premières traces de carbonisation apparaissent, devenant très importantes dans un rayon de 25 à 50 km. Cette extraction entraîne la disparition de

certaines espèces végétales (*Calligonum comosum*, et *Calligonum azeol*), très recherchées pour leur qualité de combustible et accélèrent la formation d'une auréole de désertification (actuellement visible dans un rayon de 25 km autour de l'oasis). Les effets de cet amenuisement du couvert végétal sur le milieu physique sont nombreux : formation de voiles éoliens, remise en mouvements d'anciens dépôts locaux de sable qui évoluent progressivement en dunes mouvantes (*barkhanes*), qui compromettent les actions de lutte contre la désertification (540 km de dunes de protection aménagées) et accroissent la menace pour les infrastructures (lutte contre l'ensablement, l'invasion des périmètres irrigués et des oasis).

Ces activités extractives ne résultent pas d'une action homogène de la population, mais de certaines catégories de ménages, généralement ceux qui ont les revenus agricoles les plus faibles. Elles constituent un travail saisonnier et rémunérateur qui tente les jeunes sans emploi avec, comme le signale Auclair et Zaafouri, (1996), l'occasion de renouer avec la nature identitaire des relations avec le désert. Le supplément de revenus qu'elles procurent, apporte un certain confort à cette frange de la population en marge des processus de développement « officiels ».

4 - Les réponses sociétales aux changements

En s'attachant aux pratiques d'usage des ressources naturelles et au type d'exploitation agricole la population se distingue en deux groupes d'exploitants : les exploitants oasiens principalement orientés vers la phoeniciculture (culture du palmier dattier) et les exploitants éleveurs; à l'intérieur desquels plusieurs types de ménages se différencient selon la nature et l'intensité de l'activité agricole (se référer à l'encadré et à la figure 1).

Typologie Ménages-environnement à El Faouar

- Type 1 : Exploitants du type traditionnel**, qui possèdent des exploitations traditionnelles de faible taille dont la plantation n'est pas spécialisée en variété dattier Deglat noir. La superficie agricole ne dépasse guère 0,5 ha. 50 % des exploitants ont une exploitation inférieure à 0,25 ha. Les tribus Ghrib et Sabria sont équitablement représentées
- Type 2 : Exploitants cueilleur-pasteurs**. Ce groupe se classe parmi les plus importants. Il se caractérise une utilisation forte du milieu environnant par la pratique de la chasse, la récolte des plantes sauvages et par l'extraction du bois. C'est le second groupe d'éleveurs après le type 3. Le mode de conduite de l'élevage est de type extensif, très dépendant des parcours environnants, qui sont utilisés par ce groupe pour 44 % de leur capacité. Ghribs et Sabrias sont en proportion égale.
- Type 3 : Grands éleveurs**. Ce groupe est le plus représenté. Les Sabrias sont plus nombreux (67,2 %) que les Ghribs (32,8 %), ils s'individualisent quant à leurs pratiques de l'élevage (fourrages et supplémentation pour les Sabrias). Ces grands éleveurs qui concentrent environ 40 % du cheptel de la zone, se sont orientés récemment vers la phoeniciculture, utilisant les nouveaux périmètres irrigués, les plantations de palmier dattier sont jeunes ;
- Type 4 : Grands phoeniciculteurs**. Ce groupe représente une minorité de grands propriétaires spécialisés dans la production des dattes du type Deglat noir;
- Type 5 : Exploitants marginaux non éleveurs**. Groupe important dominé surtout par les Sabria (secteur 2). Il regroupe les exploitants non éleveurs dont l'exploitation oasienne est de taille réduite et se caractérise par l'abandon des deux étages arboricole et herbacé de l'oasis ;
- Type 6 : Non exploitants agricoles** : Minorité constituée de fonctionnaires, commerçants, services hôtelier, etc. (Source : Collectif de recherches Dypen-Tunisie)

Répartition des ménages suivant la TME

Population d'El Faouar (100 %)				
Exploitants agricoles 96 %			Type 6 Non exploitants agricoles 4%	
Exploitants oasiens 42,7%			Eleveurs 53,3%	
Type 4 Grands Phoeni- ciculteurs 7,1%	Type 1 Exploitants Type tradi- tionnels 16%	Type 5 Exploitants Marginaux non éleveurs 19,6%	Type 2 Exploitants cueilleurs- pasteurs 23,3%	Type 3 Grands éleveurs 27%

Source : Enquête Dypen-Tunisie, M. Sghaier, IRA

Il n'est guère étonnant de constater que l'appartenance ethnique (*Sabrias* et *Ghribs*) joue un rôle de différenciation relativement important dans la répartition des ménages. Les ex-nomades *Ghribs* sont principalement exploitants cueilleurs éleveurs (31,4 % dans le type 2) et grands éleveurs (24,2 % dans le type 3). Les oasisiens *Sabrias* bien que concentrés également dans ces groupes 2 et 3, forment par ailleurs un groupe assez spécifique de cultivateurs marginaux (25 % de la population *Sabria*, type 5). Concentrant les activités pastorales, mais également les pratiques traditionnelles de charbonnage et de ramassage des ligneux comme bois de chauffe; ces trois groupes ont le plus fort impact sur la steppe environnante. Ils constituent dans l'oasis d'El Faouar plus des 2/3 de la population.

Répartition ethnique des ménages selon la TME

	Ghribs	Sabrias	Total	Effectifs enquêtés
1- Exploitant traditionnels	41,9	58,1	100	31
2 -cueilleurs	43,1	56,9	100	51
3- Grands Eleveurs	32,6	67,3	100	52
4- Phoeniculculteurs	42,8	57,2	100	14
5- Cultivateurs-marginaux	18,6	81,4	100	38
6- Non-exploitants	62,5	37,5	100	8
Total	36,1	63,9	100	///
Effectifs	70	124	///	194

Source : Enquête Dypen - Tunisie

L'intégration des Ghribs a la vie oasisienne

Le processus de sédentarisation qui avait pris de l'ampleur après les grandes sécheresses des années 1936 et 1940, puis 1947, n'avait pas amené une amélioration sensible du niveau de vie des nomades. Il entraînait plutôt une détérioration du système oasisien par le surpeuplement, la division excessive de la propriété. Après l'Indépendance, l'extension des périmètres irrigués avec attribution de lots va permettre aux nomades *Ghribs* de s'approprier un nouvel espace agricole; certains ont abandonné l'activité pastorale devenant paysans cultivateurs, apprenant l'irrigation et la phoeniculture, d'autres se sont attachés à maintenir leurs coutumes pastorales. Les premiers ont intégrés le processus régional de mise en valeur avec plus ou moins de bonheur suivant leur capacité à cultiver, à s'approprier un espace agricole plus large et à le rentabiliser. Soumis aux aléas de parcours de plus en plus dégradés, les seconds n'ont pas eu d'autres recours pour survivre que de passer à l'élevage intensif. Seuls les grands éleveurs (type 3) ont pu ainsi s'adapter. Pour les autres, cela a signifié l'abandon de cette activité ou sa marginalisation.

Une nouvelle division du travail est apparue à la fois familiale ou communautaire pour mener ce qu'il reste des troupeaux, entretenir les plantations irriguées, participer aux travaux de lutte contre l'ensablement, etc., avec une participation de plus en plus active des femmes aux travaux agricoles. Les jeunes de sexe masculin vont vers les fronts pionniers nouveaux, comme Reming Maatoug à la frontière algéro-tunisienne, certains s'adonnent au charbonnage installant leurs campements loin du contrôle des forestiers, où trouvent à s'employer dans le secteur touristique. Ces transferts d'activité, qui s'exercent vers les services, le bâtiment, le commerce, le tourisme etc., s'appuie sur une appréciation très pessimiste de la population sur la qualité des parcours et l'avenir du pastoralisme. Celui-ci ne peut être au mieux qu'une activité d'appoint. Le passage d'une vie nomade essentiellement pastorale à une vie quasi citadine dans les oasis a ainsi entraîné de profondes mutations dans la société *Ghrib* : diversification des activités agricoles, accès à l'économie de marché par la commercialisation des produits (dattes, légumes, fourrages), l'utilisation des produits de supplémentation pour l'alimentation du cheptel et la féminisation du travail agricole. Les ex-nomades sont devenus paysans sans que ce passage ait pu assurer pour tous un revenu suffisant, amenant nombre d'entre eux à se transformer en «soutiers» des projets de mise en valeur avec un développement de la multi-activité où le travail agricole n'apparaît plus comme l'activité principale, ou à émigrer.

Les Sabrias : entre développement et marginalisation

Depuis plus longtemps convertis à la vie sédentaire et à l'agriculture oasisienne, les *Sabrias* pratiquaient déjà cette complémentarité entre activités pastorales et cultures oasisiennes. Occupants de l'espace oasisien ancien, ils ont laissé aux ex-nomades plus accoutumés et probablement plus persévérants (KASSAH, 1989) les secteurs les plus éloignés et les plus contraignants, préférant développer leurs activités aux abords de leur village, profitant de l'extension des périmètres irrigués. La production agricole s'est davantage orientée vers la phoeniculture en particulier la culture très rentable du palmier dattier deglat noir pour l'exportation, et vers l'élevage intensif (type 3), abandonnant progressivement l'élevage sur parcours. Dans cette société, segmentée par l'histoire et par les vagues successives de sédentarisation, ces conditions favorables n'ont pas touché toutes les couches de la population; une frange importante de la population est restée en marge, participant peu ou ne pouvant pas

participer au processus de développement. Beaucoup de lots attribués au départ équitablement, se sont vite trouvés concentrés aux mains de quelqu'uns. Situation, qui explique l'importance des groupes des cultivateurs marginaux (type 5), des exploitants traditionnels et des cultivateurs-cueilleurs (type 1 et 2) marqués par la petitesse des exploitations, minés par un accroissement de la taille des familles, tenus d'exploiter encore les maigres ressources du milieu, (ces trois types sont ceux qui ont l'impact le plus important sur la steppe saharienne environnante). Ces ménages suivent assez mal les mutations que connaissent leur société, trouvant dans l'émigration un exutoire à leur difficultés d'insertion dans les processus de mise en valeur.

Les dynamiques sociales émergentes de ces changement se trouvent complémentaires lorsqu'elles se réfèrent à l'accès à de nouveaux modes de production et à de nouvelles activités non agricoles, ou concurrentes lorsqu'il y a confrontation entre les modes de faire valoir traditionnels et les actions de mise en valeur. Elles expriment finalement les diverses formes d'adaptation que les familles, de plus en plus détachées des valeurs communautaires, mettent en oeuvre pour s'inscrire dans le mouvement de développement social et économique. Ces formes d'adaptation sont directement liées aux composantes des stratégies familiales.

Une diversification croissante des stratégies familiales

A l'exception des groupes des exploitants de type traditionnel (type 1) et des grands phoenéciculteurs (type 4), le reste des ménages appartenant aux autres groupes (majoritaires) ont un profil démographique de population très jeune. Les types 1 et 4 se distinguent du reste de la population pour des raisons différentes; les exploitants de type traditionnel sont marqués par les effets d'une forte émigration sur le potentiel de reproduction, tandis que les grands phoenéciculteurs semblent montrer quelques tendances au «modernisme» démographique surtout lorsqu'ils sont *Sabrias*, (amorce d'une reproduction contrôlée). L'importance de ces différences dépend de la prédominance de telle ou telle ethnie dans chaque type. Les ex-nomades *Ghribs* font apparaître, en effet, une plus grande hétérogénéité dans leurs dynamiques familiales que les *Sabrias*, probablement en raison de l'effet sélectif de la sédentarisation sur les structures tribales. En fait, c'est moins l'appartenance ethnique qui semble distinguer les ménages que leur niveau d'intégration aux nouveaux facteurs économiques. Il n'y a pas à proprement parler de dichotomie sociale, sinon une conjonction de comportements socio-démographiques et économiques, qui tendrait à distinguer les ménages en deux groupes : l'un où les règles tribales et patrimoniales tentent de canaliser toutes ces «nouveau» et l'autre où la «modernisation» prise au sens large se diffuse assez rapidement. Dans le premier, la cohabitation familiale est encore vivace, l'instruction moins répandue, le profil démographique est celui d'une population très jeune, ce sont des caractéristiques que l'on retrouve à quelques nuances près parmi tous les types majoritaires (types 1,2,3,5). C'est un modèle familial traditionnel, qui domine ici, marqué par les activités oasiennes et par l'accès à de maigres ressources. Il se différencie d'un modèle plus moderne et surtout plus spéculatif quand aux choix de la production agricole et des activités (Type 4 et 6).

Les indicateurs démographiques illustrent assez bien cette segmentation sociale et économique; la mortalité infantile est bien plus importante chez les ménages modestes, elle opère ainsi un nivellement de la descendance survivante particulièrement dans le groupe des petits exploitants traditionnels et des cultivateurs marginaux. La fécondité des jeunes femmes (avant l'âge de 25 ans) est encore très élevée parmi ces ménages tandis qu'elle apparaît en baisse dans les autres types, en particulier dans le groupe des non-exploitants agricoles et des grands phoenéciculteurs. Il y a l'indice de comportements malthusiens nouveaux. Ces deux types sont minoritaires, mais tout semble les différencier du reste de la population.

Les mouvements migratoires sont importants : le développement de l'oasis a provoqué un mouvement d'immigration, attirant des ménages des régions voisines, pas forcément des gros exploitants qui semblent plutôt être originaires de la région même, sans stopper l'émigration, qui demeure encore un moyen de régulation pour beaucoup de familles. En effet, malgré les projets de mise en valeur, le revenu agricole reste faible pour nombre de ménages qui continuent à expatrier une partie de leur force de travail, espérant au delà de leur simple subsistance, accumuler ainsi suffisamment de revenus pour participer un jour à la prospérité ambiante. La mobilité des chefs de ménages est forte, principalement dans les types traditionnels où se concentrent la majeure partie de la population. L'émigration organisée continue ainsi d'être très utilisée par les populations oasiennes auxquelles se sont joints les ex-nomades. Seuls le groupe des grands phoenéciculteurs (type 4) semblent échapper à cette logique migratoire.

Les comportements matrimoniaux et reproductifs, à la différence des autres régions rurales du Centre et du Nord, n'ont pas encore un impact élevé sur la dynamique de population de la région, qui reste parmi les régions les plus prolifiques du pays. Cela tient sans doute, à la conservation de valeurs culturelles et religieuses qui s'expriment à l'occasion de grands rassemblements par tribus ou fractions de tribus sur des sites maraboutiques où la singularité tribale reprend tout son sens. (Kilani, 1987). De plus, la sédentarisation des *Ghribs* est encore trop récente pour que la diffusion de comportements plus sédentaires et urbains s'incrinvent dans leurs systèmes de reproduction. Leurs dynamiques sociales et familiales, même si elles apparaissent se diversifier par l'intégration progressive au système global tunisien (en particulier à travers l'éducation et l'accès à de nouveaux emplois), restent très communautaires dès qu'il s'agit de régenter les droits de propriété et la transmission des patrimoines, où d'avoir recours à de nouvelles appropriations comme par exemple : le phénomène de piratage de l'eau et la réalisation de périmètres irrigués clandestins ou l'urbanisation «sauvage» de nouveaux périmètres urbains, (Allard, 1993, Shaier, 1994). A coté de ces groupes traditionnels une partie de la population montre en revanche

sa capacité à s'adapter aux changements et à utiliser au mieux les opportunités dégagées par les plans de mise en valeur.

Conclusion:

La persistance d'une forte cohésion sociale permet de maintenir encore aujourd'hui une certaine homogénéité dans les sociétés *Ghrib* et *Sabria*, mais en même temps, elle semble fournir un support à de nouvelles stratégies familiales. L'attachement aux valeurs traditionnelles, la diffusion de comportements sociaux «modernes» s'imbriquent dans une diversité de stratégies, qui se manifeste simultanément sous des facettes multiples, intercorrélées : diversité des systèmes d'exploitation, des usages et des impacts sur le milieu, de la perception et de la représentation du milieu naturel, des innovations socio-démographiques; diversité dans la gestion de la migration (pratiquée depuis longtemps par ces sociétés comme mode de régulation démographique); diversité dans la pratique des droits lignagiers, etc. Les situations sont de plus en plus complexes. Il est flagrant, dans cette évolution, que les dynamiques sociales de type «traditionnelles» cèdent du terrain sous le double effet du vieillissement des générations et du recul des activités pastorales. L'amenuisement des ressources de parcours ont accentué leur précarité et elles tendent à se marginaliser. En revanche, l'accès aux processus de mise en valeur, la généralisation de l'éducation et des infrastructures sociales et sanitaires favorisent de nouveaux comportements. Ils se diffusent rapidement parmi les nouvelles générations, créent une différenciation socio-économique qui se substitue peu à peu aux strates sociales traditionnelles.

L'intégration progressive à l'économie de marché de la production agricole, les critères de rentabilité et les impératifs de commercialisation qu'elle sous-tend, créent un scénario d'utilisation des ressources très différent de celui qui prévalait au temps du nomadisme. La contrainte écologique est telle aujourd'hui que les activités pastorales sont condamnées à terme - on a vu qu'elles étaient devenues marginales dans la composition du revenu des ménages. Les activités nouvellement mises en oeuvre par les plans d'action, qu'ils s'agissent de l'agriculture, du tourisme, ou tout simplement de l'urbanisation, font toutes appel à la ressource eau. Les besoins sont devenues énormes et dans les secteurs utilisateurs, concurrents. Les conflits sont réglés ou retardés actuellement par la complaisance des autorités à l'égard des périmètres irrigués clandestins et l'acceptation du dépassement des quotas fixés à l'exploitation des eaux souterraines fossiles. La consommation en eau a doublé en 10 ans. *En accordant systématiquement l'eau à des systèmes de production inefficients, il s'ensuit une mauvaise valorisation de telles ressources rares et un gaspillage non justifié... perdues pour les usagers les plus performants... ces derniers se trouvent indirectement sanctionnés du fait de la longueur du tour d'eau et de la rigidité du système de production...* (Sghaier, 1993). Cette simple évocation du problème de l'eau illustre l'enjeu du développement de cette région, les mutations sociales et économiques ont éloigné les populations de la gestion parcimonieuse du milieu, les impliquant dans un processus de mise en valeur basé essentiellement sur des ressources non renouvelables dont l'échéance de tarissement est sans cesse avancée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Auclair L., Zaafour M.S., La sédentarisation des nomades dans le sud tunisien: comportement énergétiques et désertification, *Secheresse* n°1, vol. 7, 1996, pp.17-24
- Allard S; , *Des tribus nomades aux communautés oasiennes : recherche d'une problématique sur le Nefzaoua*, Montpellier, Université P. Valéry, mémoire de EA, 1993, 81 p.
- Picouet M., Sghaier M., *Dynamique des populations et aridité : une expérience dans les régions arides de la Tunisie*, Aman, Conférence on Population an environment in aride regions, Unesco,Iussp, Igu, 1994, 17 p.
- Picouet M., Sghaier M; Zaafour M.S., *Les relations population-environnement : cas de la région oasienne d'El Faouar*, Séminaire de Sidi Thabet, 1995, 30 p.
- Baduel P.R., *Société et émigration temporaire dans le Nefzaoua*, Editions du CNRS, 1980, 121 p.
- Sghaier M., *Tarifcation et allocation optimale de l'eau d'irrigation dans les systèmes de production de la région oasienne du Nefzaoua*, Thèse de Ph. D., Unicersiteit Gent, 1993, 240 p.
- Kassah A., Sédentarisation des nomades et mise en valeur agricole : les Ghribs a regim Maatoug, *Géographie et développement* n°8-9, 19989, pp 97-118.
- Moreau P. *Des lacs de sel aux chaos de sable*, Ibla, paris, 1974, 260 p.
- Zaafour M.S., Reguig M., *Impact de l'homme sur la végétation ligneuse de la strate arbustive et arborée en zone désertique : cas de la région de El Faouar.*, séminaire de Sidi Thabet, IRA, 1995, 15 p.

LES POLITIQUES D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE AU SAHARA MAGHREBIN : APPROCHE COMPAREE

Abdelfettah KASSAH
Département de géographie
Faculté des Lettres
Manouba 2010 Tunisie

RESUME

Les pays maghrébins ont adopté dans leurs territoires sahariens des politiques d'aménagement hydro-agricoles qui varient en fonction des conditions géographiques, des potentialités humaines et financières et des priorités en matière de développement économique et social.

Malgré cette diversité, les stratégies adoptées rencontrent les mêmes défis : des ressources en eau irrégulières, faibles ou très peu renouvelables, un environnement contraignant et fragile, des espaces enclavés et une recherche coûteuse. C'est ce qui nécessite une coopération et une coordination au niveau de la recherche et des actions de développement.

Mots clés : sahara maghrébin ; aménagement hydro-agricole ; oasis.

SUMMARY

Maghrebin countries have adopted in their saharian territories policies of adjustment hydro-agricultural that varies in function of geographical condition, financial and human potentialities and priorities concerning social and economic development. Despite this diversity adopted strategies meet the same challenges : irregular weak or very little renewable water resources, a fragile and constrain environment, enclosed spaces and an expensive research. It is what necessitates a co-operation and a co-ordination to the level of the research and actions of development.

INTRODUCTION

Le Sahara et ses franges présahariennes couvrent la plus grande partie du Maghreb. Les conditions physiques y sont particulièrement contraignantes et la présence humaine très faible. Les Etats maghrébins ont adopté des stratégies d'aménagement hydro-agricole visant à mieux intégrer ces vastes étendues dans leurs territoires nationaux, à marquer leurs frontières, à valoriser les ressources du milieu et à améliorer le niveau de vie des populations sahariennes. Les stratégies adoptées diffèrent toutefois d'un pays à un autre en fonction des conditions géographiques, des potentialités humaines et financières et des priorités en matière de développement économique et social.

Nous tâcherons dans ce qui suit de présenter les principales orientations dans les politiques d'aménagement hydro-agricole dans chaque pays maghrébin ainsi que les défis majeurs et les perspectives d'évolution.

1 - Sahara et oasis: similitudes et diversités

Au Maghreb, Les oasis couvrent environ 300.000 ha, soit le un tiers de la superficie des oasis dans le monde. Cependant, elles ont une inégale extension entre les cinq pays du Maghreb. L'Algérie, le plus étendu et le plus saharien des Etats maghrébins possède les plus vastes superficies d'oasis: 100.000 ha mais la Mauritanie possède peu d'oasis relativement à sa superficie et à l'extension des terres arides: 5.000 ha seulement. En Tunisie les oasis sont en pleine expansion et couvrent près de 36.000 ha. Au Maroc les oasis s'étendent sur 80.000 ha, alors qu'en Libye elles couvrent environ 65.000 ha.

Les oasis de **Mauritanie** sont les moins étendues du Maghreb et souffrent d'une crise généralisée. Elles représentent près de la moitié des superficies irriguées en Mauritanie (11.000 ha), sans compter les cultures de décrue de la vallée du Sénégal de l'ordre de 4.500 ha. Ces oasis sont très dispersées dans le vaste territoire mauritanien (1.030.000 km²). Les principales régions phœnicicoles sont: l'Adrar (2.187 ha et 258.000 palmiers), Tagant (1.305 ha et 326.000 palmiers) L'Assaba (1.272 ha et 222.000 palmiers) les Hodhs Chargui et gharbi (292 ha et 32.000 palmiers). Ainsi les trois principales régions phœnicicoles totalisent à elles seules 95% des oasis mauritaniennes. La taille des oasis peut varier de quelques hectares à 300 ha, la moyenne se situant à 50 ha.

Au **Maroc** les oasis connaissent une extension relativement forte au Sud du système montagneux atlasique: de l'océan atlantique à l'Ouest jusqu'aux frontières algéro-marocaines à l'Est. Cette localisation n'est pas fortuite puisque la plus grande partie des eaux superficielles ou souterraines alimentant l'irrigation oasienne, proviennent justement de ces montagnes. Compte tenu de la vigueur du système montagneux du Haut Atlas, bien arrosé, les oasis s'étirent le long de ses nombreux cours d'eaux: Oued Draa et ses affluents haut-atlasiques et anti-Atlasiques, le long de de l'Oued Rhériss et de l'Oued Ziz. Le Tafilalet, seul est un ensemble d'oasis de 30.000 ha. Ailleurs, ce sont surtout les eaux des nappes souterraines et des sources qui alimentent des oasis de plus faible superficie et plus dispersées dans l'espace: Tazzarine, Nekob, Figuig.

L'Algérie offre un grand potentiel de production et d'exportation de dattes mais qui est encore sous-exploité. Ses oasis sont les plus étendues du Maghreb. L'importance économique de la datte varie en fonction des régions. Dans les Zibans et l'Oued Righ, la culture de la *degla* s'est développée depuis l'époque coloniale. Dans ces oasis, la datte constitue la principale production agricole. Dans l'Oued Souf et la cuvette de Ouargla, le palmier constitue une production importante mais économiquement secondaire et représente une source de revenu d'appoint. Dans le Mزاب, le Tidikelt, le Touat, et le Gourara, les dattes ont une faible valeur commerciale et sont destinées à l'autoconsommation où à l'exportation vers l'Afrique sub-saharienne. Les cultures sous palmiers occupent une place plus importante dans l'économie oasienne de ces régions.

En **Tunisie** les oasis se localisent principalement dans le Nefzaoua (15 500 ha) le Jérid (8 000 ha), la région de Gafsa (4500 ha) et le littoral du golfe de Gabès (8000 ha). La haute valeur marchande des dattes tunisiennes, en particulier la *degla*, permet à la Tunisie d'être l'un des plus grands exportateurs de dattes dans le monde. Depuis 1987, elle est devenue le premier pays exportateur de dattes dans le monde par la valeur de ses exportations. Près du un quart de la production dattière est exporté.

En **Libye**, les oasis s'étendent aussi bien sur la région côtière occidentale, de Zaouya à Mousrata (région de Tripoli), que les régions intérieures orientales (Jaghoub, Jalou, Aouijila, Sarir et Koufra) et occidentales (Fezzan). L'effectif des palmiers dattiers est d'environ 5 millions. La production dattière est fluctuante et a connu ces dernières années une légère baisse.

L'importance économique des espaces oasiens du Maghreb est également très différente d'un pays à un autre. Le palmier dattier ne présente pas le même intérêt économique dans les différentes régions. Les palmeraies marocaines ainsi que la moitié des palmeraies algériennes sont atteintes par le bayoud, ou *Fusariose*. Cette maladie cryptogamique du palmier dattier constitue un véritable fléau qui est incurable à l'état actuel de nos connaissances.

Les oasis du Maghreb connaissent aujourd'hui des mutations sociales, économiques et spatiales sans égal à travers l'histoire. Elles sont le résultat d'interventions massives des pouvoirs publics. Cependant des héritages marquent encore profondément les agro-systèmes oasiens ainsi que les sociétés oasiennes. Les effets des interventions publiques diffèrent sensiblement d'un pays à un autre en fonction des politiques appliquées dans chaque pays maghrébin.

2- Mauritanie: des actions ponctuelles et des oasis en crise

En Mauritanie les eaux souterraines constituent l'essentiel des ressources en eau exploitées pour l'irrigation dans les oasis. Ces nappes ont été particulièrement touchées par la longue sécheresse. Leur exploitation s'effectue principalement par des techniques rudimentaires d'exhaure: puits peu profonds, construits en matériaux rudimentaires tels branchages et troncs de palmiers et exploités la plupart du temps manuellement ou en actionnant des systèmes à balancier. Les puits cimentés représentent 8% du total des puits, et ceux équipés de moto-pompes représentent moins de 6%. L'Adrar est nettement mieux équipé en puits cimentés et en moto-pompes. Mais les nappes y atteignent des niveaux inquiétants de sur-exploitation. Beaucoup de problèmes se posent à ces irriguants: gaspillage d'eau, problèmes de maintenance et de réparation des moto-pompes, insuffisance des disponibilités financières.

Dans l'économie de la Mauritanie, où prédominait le nomadisme pastoral, les oasis étaient marginalisées. La longue sécheresse sahélienne des années 70 a entraîné le déclin du nomadisme pastoral et a accéléré le processus de sédentarisation. Cette évolution n'a pas pour autant profité aux oasis puisque l'intérieur du pays continue à se vider par un exode massif au profit des villes du littoral, en particulier la capitale, ainsi que les rives du fleuve Sénégal. La capitale Nouakchott concentre à elle seule le tiers de la population de la Mauritanie.

Le déclin des oasis mauritaniennes ne relève pas uniquement des contraintes climatiques, des rigueurs du milieu naturel, ou de l'envahissement par les sables. La conjonction de plusieurs facteurs est à l'origine de ce déclin: enclavement, marginalisation des oasis par une politique qui a privilégié le littoral et les rives du fleuve Sénégal, insuffisance des investissements. Les migrations massives ont contribué à vider les espaces intérieurs et les rendre répulsifs. Le renversement de cette tendance exige d'énormes investissements et une politique d'aménagement plus équilibrée. Le développement des oasis mauritaniennes est susceptible de jouer un rôle

fondamental dans l'équilibre régional et l'atténuation des fortes pressions humaines sur la capitale et les rives du fleuve Sénégal.

3 - Maroc: une politique de grands barrages

Les eaux de surface qui descendent des montagnes atlasiques donnent naissance aux terroirs oasiens les plus étendus. Ces cours d'eaux, se caractérisent le plus souvent par des écoulements temporaires ou des débits très irréguliers. Ils donnent naissance à des oasis allongées et linéaires. Les jardins, palmeraies et champs céréaliers ne s'éloignent guère de l'axe de la vallée. L'irrigation se faisait jadis à partir de modestes barrages de dérivation, construits en branchages ou cailloux, qu'il fallait reconstruire après chaque crue.

La réalisation de grands barrages de retenue a introduit des modifications notables dans la maîtrise et la gestion des eaux de surface. Elle n'a pas moins posé de nouveaux problèmes et de nouvelles contraintes à l'agriculture oasienne dans son ensemble. Au Tafilalet un grand barrage a été achevé en 1971 sur l'Oued Ziz (Hassen Addakhlil) d'une capacité de 362 millions de m³ permettant d'irriguer 21 160 ha. Un autre barrage a été achevé l'année suivante sur l'Oued Draa (Mansour Eddahbi) d'une capacité de 567 millions de m³, dominant une superficie irriguée de 19.000 ha.

Ces aménagements hydrauliques étaient destinés à réduire les effets dévastateurs des crues, à régulariser le débit des cours d'eau et à maîtriser l'exploitation de ses eaux. Les résultats sont toutefois mitigés et des conséquences négatives sont apparues: accroissement de la salinité des sols, limitation des apports en limons fertilisants, réduction des recharges naturelles des nappes phréatiques.

La construction de barrages a perturbé les anciens systèmes hydrauliques et a marginalisé les communautés et collectivités locales qui géraient d'une manière autonome, sans être pour autant égalitaire, cette source de vie rare qu'est l'eau. Désormais la disponibilité de l'eau est conditionnée par les lâchures, limitées dans le temps et décidées par un organisme central, dépendant directement de l'Etat. La périodicité des lâchures, trois à cinq fois par an, ne correspond pas toujours aux souhaits des populations locales. Les pouvoirs publics, soucieux de promouvoir des cultures stratégiques, en l'occurrence les céréales, étalent les lâchures en fonction des besoins de la céréaliculture. Quant aux populations locales, plus soucieuses d'accroître leurs revenus, préfèrent des lâchures plus rapprochées, propices aux cultures maraîchères et fruitières.

A l'exception de la construction de barrages, aucune action d'envergure n'a été entreprise pour la sauvegarde ou l'extension des oasis. Longtemps les politiques de développement se sont intéressées au "Maroc utile", délaissant les espaces intérieurs et sahariens. De ce fait les agro-systèmes oasiens ont évolué sous l'effet de leur propre dynamique, connaissant aussi bien des formes d'abandon et de déprise, que des manifestations de reprise et de regain d'intérêt pour l'agriculture oasienne.

Ce sont principalement les terroirs marginaux et périphériques qui ont été touchés par l'abandon. En effet les terroirs céréaliers, *mader*, cultivés lors de crues principalement fortes, ne sont plus mis en culture. Les barrages de retenue ont éliminé les crues qui atteignaient les secteurs de l'aval où se localisent ces plaines à limons. D'autres oasis ont connu une reprise et un développement grâce en particulier aux investissements des émigrés. C'est le cas des oasis du Dadès.

4 - Algérie: un processus de privatisation et des projets ambitieux de mise en valeur

En Algérie, peu de barrages ont été construits. Deux barrages intéressent la zone saharienne: le barrage de Djorf Torba, sur l'oued Ghir, a été construit en 1965, d'une capacité initiale de 360 millions de m³; celui de Foum El Gherza, plus ancien dans l'Aurès a une capacité de mobilisation de 35 millions de m³. Le barrage de Djorf Torba était destiné à mobiliser les eaux de l'Oued Ghir pour créer un périmètre de 7400 ha, périmètre d'Abadla, où seraient réalisées des cultures maraîchères céréaliers et fourragères, associées à l'élevage bovin laitier et caprin, avec différentes transformations agro-industrielles sur place. Le projet a été très coûteux et son exécution a été très lente. Le projet n'a pas été réalisé en totalité: seuls 5400 ha ont été aménagés. Aujourd'hui seuls 2000 ha sont irrigués. La capacité du barrage a été fortement réduite par l'envasement. Les rendements céréaliers obtenus après la mise en eau du périmètre sont inférieurs à ceux qu'on obtenait à partir des eaux de crue, tant les crues très chargées en limons fertilisaient le sol.

La politique d'aménagement hydro-agricole en Algérie a connu un tournant décisif au début des années 80. En effet, la rente pétrolière et les problèmes de l'agriculture dans les régions telliennes d'une part, les atouts agronomiques du Sahara de l'autre, en particulier la chaleur, la luminosité et les nappes d'eau souterraines, ont donné beaucoup d'espoir aux planificateurs algériens pour résoudre le grave problème du déficit alimentaire et ses implications sociales, économiques et politiques.

En 1983 a été promulguée la loi sur "l'accession à la propriété foncière agricole"(A.P.F.A.). Il s'agit de l'attribution collective ou privée de concessions de terre à mettre en valeur, hors des oasis, en zones sahariennes et steppiques. L'application de cette loi a accéléré les forages profonds et la mise en valeur agricole. Des moyens techniques modernes ont été employés: moto-pompes, rampes asperseurs, pivots, conduites étanches, abris-serres,...etc. Des investissements importants ont été consentis par l'Etat: infrastructures routières, équipements socio-collectifs, recherche agronomique, encadrement des agriculteurs, ...

Cependant les résultats de cette politique demeurent très inégaux. Les niveaux de performance prévus n'ont pas été atteints. En effet la chute des recettes pétrolières et le tarissement des investissements publics ont engendré de multiples problèmes techniques et financiers: faiblesse ou retard dans le déblocage des crédits, non disponibilité des équipements hydrauliques et agricoles, problèmes de maintenance et d'entretien, insuffisance de l'encadrement technique, mauvaise planification de certaines opérations agricoles,...De même l'environnement saharien est contraignant et fragile. Les cultures de plein-champ sont très délicates. Les effets des nouveaux projets sur l'emploi sont très limités. Alors que les sociétés oasiennes connaissent une croissance démographique rapide.

5 -Tunisie: réhabilitation des anciennes oasis et mise en valeur agricole

La réalisation de l'étude des ressources en eau du Sahara septentrional en 1972, a rendu possible l'élaboration d'un plan d'aménagement hydro-agricole qui couvre l'ensemble du sud tunisien. Il s'agit du Plan directeur d'exploitation des ressources en eau en sol du Sud tunisien (P.D.E.S.) achevé en 1976 et appliqué à partir de 1980. Avant cette date, les interventions des pouvoirs publics étaient ponctuelles et isolées. Le plan directeur des eaux du sud s'est fixé pour objectif dans le domaine hydraulique et agricole deux types d'actions:

- Sauvegarde et réhabilitation des oasis anciennes qui souffrent d'un déficit important en eau
- Création de nouvelles oasis sur les meilleurs sols.

Dans le cadre du P.D.E.S., l'Etat a entrepris la rénovation des anciennes oasis. Il s'agit à la fois d'actions hydrauliques et agronomiques. Sur le plan hydraulique les interventions concernent le comblement du déficit en eau de ces oasis par le remplacement ou la création de forages, leur équipement en moto-pompes et la modernisation des réseaux d'irrigation et de drainage. Sur le plan agronomique il s'agit de réaliser une reconversion agricole axée sur des plantations à haute valeur marchande tels la deglat nour dans le Jérid et le Nefzaoua. Il s'agit également d'intensifier les cultures intercalaires, maraîchères et fourragères .

Un premier bilan de ces interventions révèle que les actions hydrauliques ont été dans l'ensemble positives. Elles ont permis de réduire le déficit en eau des anciennes oasis, de réaliser des économies d'eau ainsi que sa meilleure répartition entre les exploitations. Par contre la reconversion agricole est très lente et rencontre de nombreuses difficultés. Au cours du VII^e plan (1987-1991) les réalisations en matière d'arrachage de vieux palmiers ou à faible valeur marchande , dans l'ensemble des oasis anciennes du Sud tunisien, n'ont pas dépassé 22% des prévisions. En matière de replantation le taux de réalisation a été encore plus faible: 15% seulement. Les causes principales de cette situation relèvent essentiellement de blocages structurels. Les structures agraires qui n'ont pas été concernées par les interventions étatiques, constituent pourtant les véritables blocages à toute rénovation des oasis anciennes: émiettement de la propriété, absentéisme, mode de faire valoir indirect. La réforme des structures dans les anciennes oasis est très difficile. Les résultats seront toujours inférieurs aux efforts fournis et aux risques socio-politiques soulevés.

Le deuxième volet d'intervention de l'Etat dans le Sahara tunisien est la mise en valeur agricole prévue sur près de 8000ha principalement dans le Jérid et le Nefzaoua. La superficie mise en valeur dans tout le Sud-Ouest, entre 1980 et 1993, s'élève à: 3341ha dont 380ha à Gafsa, 1311ha au Nefzaoua et 1650ha au Jérid. Regim-Maatoug constitue un véritable front pionnier où 300 ha sont plantés et attribués, 1000 ha sont en cours de plantation et d'attribution. La création de 1200ha d'oasis à Regim-Maatoug est également prévue d'ici l'an 2000. Les forages sont déjà réalisés, l'infrastructure routière est en cours d'achèvement et les conditions d'une installation humaine durable aux confins du plus grand désert de la planète, sont pratiquement réunies. Au total les nouvelles créations oasiennes de Regim-Maatoug couvriront 2500ha.

Le choix des pouvoirs public a été de confier les nouveaux périmètres à des attributaires privés, dont un grand nombre de jeunes. L'objectif était de créer de nouvelles sources de revenus et d'emploi dans une région qui souffre d'un taux de chômage et de sous-emploi élevé, de faciliter la sédentarisation et l'intégration des derniers ménages semi-nomades, de rajeunir la main d'œuvre agricole et de créer une paysannerie attachée à la terre sur des marges frontalières. Ainsi les nouvelles créations, qui s'effectuent dans un contexte de libéralisme économique, visent plusieurs objectifs à la fois. La rentabilité économique des nouveaux périmètres est également recherchée, puisque le Sahara tunisien offre des conditions agro-climatiques favorables à la plantation des palmiers deglet-nour.

Cependant les projets de mise en valeur réalisés par les pouvoirs publics se sont révélés insuffisants pour répondre à l'attente des populations locales. Il s'en est suivi un mouvement anarchique et spontané de création de forages et de plantation. Cette mise en valeur privée, spontanée et illicite couvre environ 7000 ha au Nefzoua, 1000 ha au Jérid et 1000 ha à Segdoud.

Certes ce mouvement reflète un dynamisme paysan et un attachement à la terre malgré les contraintes du milieu naturel, mais il ne constitue pas moins une menace sur l'avenir de toute la région. En effet la mise en valeur privée, spontanée et illicite, accélère la baisse de l'artésianisme, le recours accru au pompage et le renchérissement du coût de l'eau. De même la contamination des nappes profondes par les eaux fortement salées des chotts devient une menace très sérieuse. Le problème d'hydromorphie dans les oasis s'aggrave, car il est de plus en plus difficile de se débarrasser des énormes quantités d'eaux désormais disponibles pour l'irrigation.

Dans tout le Sahara maghrébin, une réalité se confirme: il est aussi difficile de se procurer de l'eau que de s'en débarrasser après usage.

6 - Libye: Une politique de transfert de l'eau et de mise en valeur littorale

Le projet de "fleuve artificiel" rendu possible par la rente pétrolière est l'un des projets hydro-agricoles les plus ambitieux et les plus coûteux dans le monde. Le coût total du projet est de l'ordre de 25 milliards de dollars, soit deux fois le prix du tunnel sous la Manche. Il s'agit de la mobilisation et de l'adduction des eaux fossiles du Sahara, de Sarir et Koufra, sur plus de 1800 km vers les agglomérations urbaines et les terres cultivables du littoral, pour irriguer 180000 ha.

La première tranche du projet a été inaugurée en août 1991. Les objectifs de ce projet sont à la fois d'ordre stratégiques et économiques: assurer l'indépendance alimentaire du pays, diversifier les bases de l'économie libyenne, trop dépendante des recettes pétrolières, et exploiter les immenses richesses hydrauliques du sous-sol saharien.

Bien qu'il soit trop tôt pour dresser un bilan de ce projet, déjà certaines conséquences sont visibles et des interrogations peuvent être posées. En effet ce "fleuve artificiel" a permis d'accroître les superficies irriguées et la production agricole, ainsi que d'approvisionner en eau les villes du littoral. Cependant son coût est excessivement élevé. Les menaces écologiques ne sont pas moindres: épuisement des nappes, salinisation des sols dans les plaines littorales et concurrence accrue entre industrie, agriculture et urbanisation. Est-il sensé dans ce cas qu'un pays désertique produise à grands frais ses propres besoins alimentaires? N'est-il pas plus raisonnable d'acheter toutes ces denrées sur le marché maghrébin et méditerranéen à moindre frais? la dépendance alimentaire n'est elle pas en cours d'être remplacé par une dépendance technologique?

Conclusion: défis majeurs et perspectives

Malgré la diversité des stratégies d'aménagement hydro-agricoles adoptées, ces politiques rencontrent les mêmes défis: des ressources en eau irrégulières, faibles ou très peu renouvelables, un environnement contraignant et fragile, des espaces enclavés et une recherche coûteuse. C'est ce qui nécessite une coopération et coordination pour: centraliser et mieux coordonner la recherche, désenclaver les régions sahariennes et adopter de nouvelles solutions pour résoudre les problèmes spécifiques de développement en zone aride.

Les interventions publiques dans les régions sahariennes ont pris de l'ampleur ces deux dernières décennies. La maîtrise de vastes espaces presque vides et la délimitation de frontières, parfois contestées, ont constitué des soucis majeurs des états maghrébins. L'exploitation de ressources énergétiques ou minières s'est accélérée. L'exploitation de ces ressources était destinée davantage à alimenter les finances publiques beaucoup plus qu'à promouvoir un quelconque développement local ou régional en zone saharienne. Toutefois la réalisation d'équipements socio-collectifs et d'infrastructures modernes de transport a profité aux populations sahariennes. Celles-ci connaissent aujourd'hui un accroissement démographique rapide. Loin d'être en voie de dépeuplement le Sahara est de plus en plus peuplé, particulièrement ses franges septentrionales, aux conditions physiques moins contraignantes. La promotion administrative de petits centres oasiens, la diversification des activités économiques, la sédentarisation d'anciens groupes nomades et semi-nomades, ont été de puissants facteurs d'urbanisation.

Les récentes et spectaculaires mutations socio-économiques des régions sahariennes ont aggravé la pression sur les espaces oasiens. Désormais de nouvelles concurrences s'installent et des conflits aigus voient le jour entre:

- agriculture oasienne traditionnelle et nouvelles formes de mise en valeur
- l'agriculture irriguée et les autres secteurs d'activité: industrie, extraction minière, tourisme.

Ce sont en particulier les anciennes sociétés et économies oasiennes qui sont touchées par de telles évolutions. Elles ont de grandes difficultés à valoriser et à accéder à une eau plus rare, plus chère et plus convoitée. C'est aux pouvoirs publics, qui sont à l'origine de tels bouleversements, qu'incombe la responsabilité d'arbitrer les conflits et de sauvegarder le patrimoine humain, culturel et écologique de ces anciens agro-systèmes oasiens.

Malgré les progrès spectaculaires dans les moyens de transport, de la motorisation et de la mobilité accrue des hommes et capitaux, beaucoup de sous-espaces sahariens demeurent enclavés. La délimitation des frontières depuis l'époque coloniale, la sédentarisation des populations nomades et semi-nomades, le souci de chaque Etat de maîtriser et de contrôler son territoire saharien, ont contribué à l'enclavement de nombreux espaces frontaliers., jadis lieux d'échanges fructueux sur les routes du grand commerce caravanier. C'est en renforçant l'intégration des espaces sahariens du Maghreb, en désenclavant les oasis isolées et marginalisées, en tirant profit des atouts de complémentarité et des similitudes dans les problèmes de développement, qu'un meilleur avenir pour l'ensemble des régions sahariennes du Maghreb peut être envisagé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aït Hamza (M.) 1993: Migration internationale du travail et urbanisation des espaces oasiens: Kelaât Mgouna; *revue de géographie du Maroc* vol.15 n°1 et 2, p.p.127-141.
- Bencherifa (A.) Et Popp (H.) 1990: L'oasis du Figuig: persistance et changements. Passavia Universitätsverlag Passau. 110 p.
- Ben Khalifa (A.) et De La Perriere (R.A.B.)1991: Progression de la fusariose du palmier dattier en Algérie. *Sécheresse* n°2, vol.2 pp :119-128.
- Bisson (J.) (sous la direction de) 1989: Le nomade, l'oasis et la ville. publication URBAMA Tours, Fascicule de Recherches n°20, 288p.
- Bisson (J.) 1993: Développement et mutations au Sahara maghrébin; édit. Centre Régional de Documentation Pédagogique, Orléans-Tours 172p. avec 24 diapositives.
- Collectif 1993: Espace et société dans les oasis marocaines; publication Faculté des Lettres et sciences humaines de Meknès, série Colloques, n°6, 149p. en arabe et 133p. en français.
- Collectif 1995: Les oasis au Maghreb mise en valeur et développement, Publications du CERES série géog. n°12.
- Congrès des ressources en eau dans le monde arabe, 1996: Résumés des communications, Université El Fateh Tripoli 163p.
- Cote (M.) 1996: L'Algérie: espace et société, Masson/Armand Colin, Coll. U, 253p.
- Dolle (V.) et Toutain (G.) éditeurs, 1990: Les systèmes agricoles oasiens. *Options méditerranéennes*, série A n°11, CIHEAM Montpellier 335 p.
- Dubost (D.) 1992: Aridité, agriculture et développement: le cas des oasis algériennes. *Sécheresse* n°2 vol.3 p.85-96.
- Kassah (A.) 1991: Les oasis du Jérid: étude de géographie agraire. publi. Fac. des Lettres Manouba; 252 p.(en arabe)
- Kassah (A.) 1996: Les oasis tunisiennes, aménagement hydro-agricole et développement en zone aride; Publications du CERES, série géographique n°13, 346p.
- Le Coz (J.) 1990: Espaces méditerranéens et dynamiques agraires. *Options Méditerranéennes*, Montpellier. 393 p.
- Mamou (A.) 1990: Caractéristiques, évaluation et gestion des ressources en eau du Sud tunisien. Thèse de doctorat d'Etat sc. nat. Univ. Paris-sud 542p.
- Mehdaoui (M.B.) 1990: Géographie humaine de la Libye; Publications de l'Université Gharyounès Benghazi, 452p. (en arabe)
- Nasr (N.) 1993: Systèmes agraires et organisations spatiales en milieu aride: cas d'El Ferch et du Dahar de Chenini-Guermessa (Sud-Est tunisien). Thèse Université Montpellier III 271p. (ronéo)
- Ouhajou (L.) 1996: Espace hydraulique et société au Maroc: cas des systèmes d'irrigation dans la vallée du Draa; Publications de la faculté des Lettres et des sciences humaines- Agadir, 344p.
- Ould Abde (M.L.) 1994: La saison des pluies à Ayoun El Atrouss, une ville sahélienne; *Sécheresse* vol.5 n°2 pp.93-97.
- Ould Echeikh (A.) 1991: Les principaux problèmes des oasis de l'Adrar mauritanien; thèse de géographie, faculté des Lettres et sciences humaines Rabat (en arabe).
- Perennes (J.J.) 1993: L'eau et les hommes au Maghreb: contribution à une politique de l'eau en Méditerranée; édit. Khartala Paris 646p.
- Premier congrès de l'eau 1995: Résumés des communications, Université Gharyounès Benghazi 60p.
- Rhouma (A.) 1996: Le palmier dattier en Tunisie: un secteur en pleine expansion; *Options méditerranéennes*, série A, N°28, pp.85-104.
- Villasante-De-Beauvais (M.) 1992: Quelques aspects sociaux et fonciers de l'oasis de Kurudjel (région de l'Assaba, république islamique de Mauritanie). *les Cahiers d'URBAMA* n°6; pp.7-125.

ALLOCATION OPTIMALE DES RESSOURCES EN EAU NON RENOUVELABLES DANS LES SYSTEMES DE PRODUCTION OASIENS EN ZONES ARIDES

SGHAIER M. (Institut des Régions Arides de Médenine), BEN SAID M. (Institut National Agronomique de Tunisie), MARTENS L. et HUYLEMBROEK G. (Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Gand-Belgique)

RESUME

Cet article tente de concevoir un modèle multiobjectif et de compromis visant à optimiser l'allocation intersystémique des ressources en eau non renouvelables dans la région oasienne de Nefzaoua (gouvernorat de Kébili, Tunisie) ce modèle se veut un outil d'aide à la décision, en ce sens qu'il offre au décideur une multitude de solutions optimales pouvant concilier entre les objectifs conflictuels d'efficacité économique, d'économie d'eau et de réduction des solutions de l'Etat.

Mots clés : modèle multiobjectif et de compromis, optimisation, ressources en eau non renouvelables, oasis, aide à la décision.

SUMMARY

This paper lead to conceive a multiobjective and compromise model which aims to optimise exhaustible water resources allocation between production region of Nefzaoua (governorate of Kebili, Tunisia). This model present a operational tool for helpings decision maker by multitude of optimal solutions which take in account economic efficiency, water consumption minimisation and water subsidies reduction.

Key words : multiobjectives and compromise model, optimisation, exhaustible water resources, decision tools, oasis.

1- INTRODUCTION

La prise de décision en agriculture est caractérisée par la multitude de critères à prendre en considération. Cependant elle a été supposée, pour longtemps, basée sur l'hypothèse d'optimisation d'un objectif unique qui est souvent lié à un critère de résultat financier ou économique de l'exploitation (valeur ajoutée, marge brute,...). En réalité, le décideur est confronté à un problème de choix de la décision optimale qui dépend de plusieurs critères et qui répond souvent à des objectifs multiples. Le problème de prise de décision devient plus complexe si ces objectifs sont conflictuels.

La conciliation entre objectifs multiples est rendue aujourd'hui possible grâce au développement, depuis les années soixante dix, d'un ensemble de travaux dont notamment ceux de: ARROW et RAYNAUD (1986), ROY (1989), VINCK (1989), VAN HUYLENBROECK (1993), ROMERO *et al.* (1989) et ROMERO *et al.* (1987). Les méthodes multicritères d'aide à la décision ainsi que les méthodes de programmation multiobjective et de compromis sont des outils qui peuvent servir à la résolution de ce type de problème.

Une application de ces méthodes est effectuée pour résoudre le problème de l'allocation des ressources en eau non renouvelables (eaux souterraines fossiles) en agriculture dans une région oasienne de la Tunisie saharienne.

2 Description du problème

Située au nord du trentième parallèle et marquée par les caprices du climat méditerranéen et par les influences désertiques du Sahara, la Tunisie est prédominée par le climat semi-aride et aride sur les trois quarts de son territoire. Cette aridité, conjuguée à l'instabilité et à la variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique, confère à l'eau un rôle fondamental et décisif dans le processus de développement économique et social du pays.. La rareté croissante des ressources en eau, conjuguée à un accroissement accru des besoins intersectoriels tant au plan quantitatif que qualitatif, qui suscite une large prise de conscience, de la part des décideurs, de la nécessité de rationaliser l'exploitation et la gestion de ces ressources. Les concepteurs de la

stratégie décennale des ressources en eau 1992-2001 considèrent que la planification comme la gestion des ressources en eau sont devenues une nécessité vitale pour assurer la sécurité en eau du pays (DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU (DGRE), 1990). Au vu de la transition actuelle de l'économie tunisienne vers une libéralisation plus accentuée et recours aux mécanismes du marché illustrée par le programme d'ajustement structure, la problématique des ressources en eau passe d'une problématique marquée par les aspects de mobilisation à une problématique d'exploitation et de gestion de la demande.

En Tunisie, l'efficacité des ressources en eau se pose à plusieurs niveaux (HORCHANI, 1994). La faiblesse de la productivité de l'eau en agriculture constitue un handicap majeur pour une meilleure valorisation des ressources allouées. En effet, l'analyse du comportement économique de l'agriculteur révèle une utilisation non optimale de l'eau d'irrigation (HAMDI, 1988). Cette faiblesse de productivité de l'eau est observée à deux niveaux : choix de cultures peu valorisatrices de l'eau et choix de systèmes d'exploitation à faibles productivités de l'eau.

La diversité des systèmes de production agricole est l'une des caractéristiques fondamentales de l'agriculture tunisienne (SELMI, 1991 ; BEN SAID et BEN ZAID, 1980 ; BROSSIER, 1987 ; MALASSIS, 1978 et DEFFONTAINES et PETIT, 1985). Cette diversité se traduit par un important différentiel d'efficacité de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigués. Par ailleurs, l'on peut admettre que tous les systèmes de production n'ont pas le même comportement vis à vis des ressources en eau allouées. En effet, certains systèmes semblent être plus gaspillants et moins économes d'eau que d'autres.

Profitant des possibilités offertes aujourd'hui par les outils de programmation multiobjective, un ensemble de solutions optimales (au sens de PARETO) seront proposées, dans ce qui suit, aux décideurs et aux usagers. Dans ces solutions, il sera tenu compte des trois objectifs sus-mentionnés et de l'ensemble de contraintes qui leur sont sous-jacentes.

Partant d'une hypothèse de diversité des systèmes de production, il s'agit d'identifier les schémas allocatifs efficaces auxquels correspond une répartition optimale des superficies irriguées par rapport aux systèmes de production identifiés.

Méthodes et donnée:

Il s'agit, dans un premier temps, d'appréhender la diversité des systèmes de production dans la région d'étude moyennant leur identification et leur caractérisation. Pour ce faire une enquête auprès d'un échantillon représentatif de 400 exploitants (14 % de la population mère) a servi comme base pour aider à établir une typologie des exploitations agricoles moyennant les méthodes d'analyse multidimensionnelles (Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) (LABROUSSE, 1980 ; MARCHAL, 1973). Une deuxième enquête auprès de 50 exploitations représentatives des systèmes de production identifiés a été effectuée afin de les caractériser.

Dans un deuxième temps, les méthodes de programmation multiobjective (méthode NISE (Noninferior Set Estimation), Compromise Programming (CP) et méthode d'optimisation simultanée des fonctions objectifs) ont été appliquées afin d'optimiser l'allocation des ressources en eau disponibles vis à vis des systèmes de production identifiés.

En effet, la programmation multiobjective permet l'optimisation simultanée au sens de PARETO de plusieurs fonctions objectifs sous un ensemble de contraintes. L'objet de la méthode est d'identifier l'ensemble des solutions optimales possibles tel qu'il n'existe pas d'autres solutions possibles plus performantes par rapport à tous les objectifs pris tous ensemble ou pris séparément (ROMERO *et al.*, 1989).

La méthode NISE (Noninferior Set Estimation), qui est due à COHON (ZEKRI, 1991), permet à la fois une approximation rapide et satisfaisante de l'ensemble des solutions efficaces lorsque le nombre d'objectifs n'est pas élevé. Cette méthode consiste à effectuer une série d'itérations pour réduire graduellement la taille de la zone d'efficacité sur la courbe du trade-off, qui se définit comme étant la valeur du sacrifice marginal relatif à un critère correspondant au gain d'une unité d'un autre critère. En d'autres termes, il s'assimile à la notion de coût d'opportunité. Il est traduit par la formulation mathématique suivante :

$$T_{jk} = \frac{F_j(x^1) - F_j(x^2)}{F_k(x^1) - F_k(x^2)}$$

T_{jk} : Trade off entre le jème critère et le kème critère

$F_j(x)$ et $F_k(x)$ représentent les deux fonctions objectifs.

X_1 et X_2 deux solutions efficaces. (ROMERO *et al.*, 1989 ; ZEKRI, 1991, ...).

La méthode de Programmation de compromis (compromise programming) (PC), cherche à préciser davantage la zone d'efficacité en identifiant le segment le plus optimal c'est à dire le plus proche du point idéal.

Le principe est de calculer des distances entre la valeur que prendra la fonction objectif et la solution idéale respective. En cas de maximisation, la distance recherchée est exprimé par d_j .

$$d_j = \frac{Z_j^* - Z_j(x)}{Z_j^* - Z_{*j}}$$

d_j : distance entre le jème objectif $Z_j(x)$ et son point idéal Z_j^*

Z_j^* : solution idéale du jème objectif

Z_{*j} : solution anti-idéal du jème objectif

Lorsque la fonction objectif est à minimiser, la distance est traduite par :

$$d_j = \frac{Z_j(x) - Z_j^*}{Z_{*j} - Z_j^*}$$

La méthode d'optimisation simultanée des fonctions objectifs (MOS) permet d'optimiser les trois fonctions objectifs simultanément pour aboutir à une solution unique. Laquelle solution constitue au décideur une approche du processus d'optimisation. Dans ce cadre, la méthode d'approximation de la zone d'efficacité, proposée par ROMERO et REHMAN (1989) est essayée.

Les analyses sont effectuées grâce au logiciel LINDO (SCHRAGE, 1986).

4. Présentation de la zone d'étude et des systèmes de productio identifiés:

Située au sud-ouest de la Tunisie, la région de Nefzaoua appartient administrativement au gouvernorat de Kébili (voir carte n°1) qui couvrent environ 2208340 ha. Elle se caractérise par un climat saharien marqué par une précipitation moyenne inférieure à 90 mm/an, un régime éolien intense et une évapotranspiration estimée à 1589 mm/an (FLORET et PONTANIER, 1982).

L'activité économique est basée sur le secteur agricole notamment la production, dans les oasis, des dattes de la variété "Deglat Nour" destinée en grande partie à l'exportation. Sur les 360 000 ha exploitables (cultures : 50 000 ha + parcours 310 000 ha), les superficies agricoles exploitées couvrent 190 000 ha dont 160 000 ha de parcours.

Les superficies irriguées couvrent 12 196 dont 8111 ha soit 66,4 % sont des périmètres irrigués légalement reconnus par les pouvoirs publics et 4085 ha soit 33,6 % sont des périmètres irrigués classés comme des extensions dites "illicites" non programmés par les services techniques du Ministère de l'Agriculture. Les besoins en eau de ces périmètres illicites sont prélevés à partir des nappes souterraines (essentiellement de la nappe du CT) à l'aide de forages réalisés par les exploitants soit en association soit à titre individuel. Les périmètres publics oasiens couvrent 7628 ha soit 94 % des périmètres légaux et 62,5 % de l'ensemble des périmètres irrigués. Les périmètres serricoles couvrent quant à eux 38 ha soit 0,5 % des PPI et 0,3 des périmètres irrigués, alors que la Société de Développement Agricole et des Dattes (SODAD) occupe 445 ha soit 5,5 % (CRDA KEBILI, 1994 ; SODAD, 1994).

Le cheptel est constitué de 50 000 unités femelles ovines, 44 000 unités femelles caprines, 5600 unités femelles camelines et 65 unités femelles bovines (CRDA KEBILI, 1994).

La production des dattes a atteint en 1993, 47 000 tonnes dont 68 % sont du type "Deglat Nour" (CRDA KEBILI, 1994). La production des cultures maraîchères protégées et chauffées par les eaux géothermales a atteint environ 2642 tonnes pendant la campagne 1992-1993.

L'essai typologique des exploitations agricoles a abouti à l'identification de sept systèmes de production décrits comme suit :

SP1 (Grandes exploitations oasiennes) : il regroupe les exploitations oasiennes des PPI de taille importante avec des densités de plantation faibles. La proportion de la variété "Deglat Nour" est relativement faible. Il occupe 2855 ha soit 23,4 % de la superficie totale des périmètres irrigués de la zone et 37,4 % des PPI oasiens.

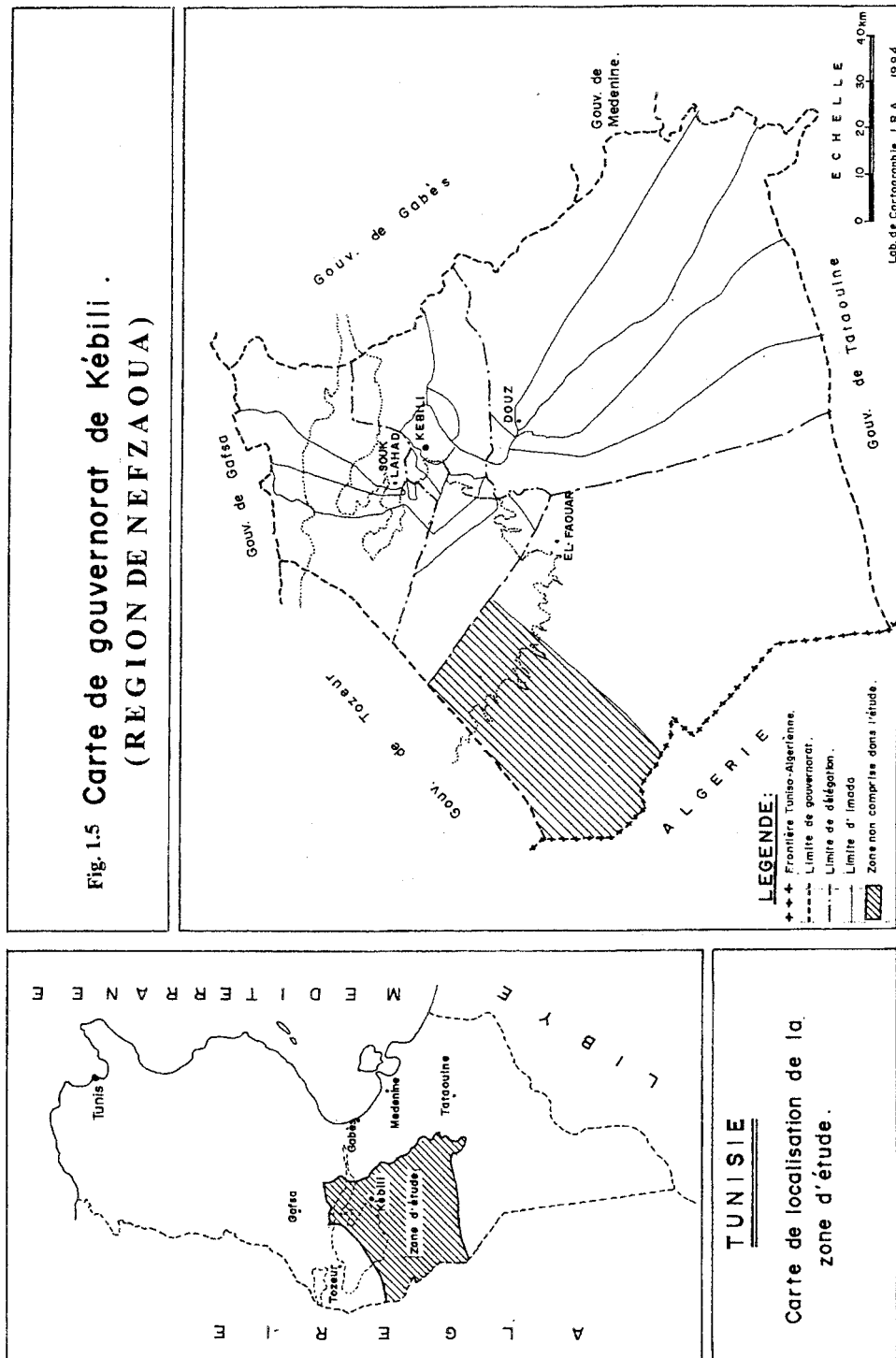


Fig. 1.5 Carte de gouvernorat de Kébili .
(RÉGION DE NEFTAOUA)

- SP2** (Exploitations oasiennes à vocation fruitière et Deglat Noir) : c'est le système des exploitations modernes orientées vers la production dattière "Deglat Noir" combinée à la production fruitière. Il couvre 2948 ha soit 24,2 % de la superficie totale et 38,3 % de la superficie des PPI.
- SP3** (Exploitations oasiennes intégrées et spécialisées en Deglat Noir) : il représente les exploitations modernes les plus performantes de type familial, en ce sens qu'elles sont spécialisées en production "Deglat Noir" mais avec un taux élevé d'occupation de l'étage inférieur. Une bonne intégration entre production végétale et production animale caractérise ce système. Il occupe 895 ha soit 7 % de la superficie totale et 11,3 % de la superficie des PPI.
- SP4** (Exploitations oasiennes marginales) : il représente le système typique des exploitations en difficultés dites "marginales". Ces exploitations sont marquées par leur faible taille (morcellement) et leur mode traditionnel de production (densité de plantation très élevée, dominance des variétés communes...). Il représente un

reliquat du mode ancien de production dans les oasis. La superficie occupée par ce système est estimée à 968 ha soit respectivement 7,9 % et 12,7 % de la superficie totale et de celle des PPI.

SP5 (Exploitations géo-serricoles) : il regroupe exclusivement les exploitations géo-serricoles de production maraîchère chauffée par l'eau géothermale (eau chaude de la nappe du continental intercalaire). Il ne couvre que 38 ha soit respectivement 0,3 % et 0,6 % de la superficie des PPI.

SP 6 (Entreprise agricole, SODAD) : il est représenté par l'entreprise agricole moderne proprement dite (SODAD) avec 445 ha plantée en monoculture "Deglat Nour" soit 3,6 % de la superficie totale.

SP 7 (Exploitations oasiennes "illicites") : c'est le système des exploitations oasiennes mises en valeur par l'initiative propre, et en dehors des programmes étatiques de mise en valeur par des exploitants privés. Il est basé sur l'exhaure de l'eau d'irrigation grâce à des puits (forages) dits illicites en référence au code des eaux (MIN. AGR. TUN, 1978). Ce système est en cours d'extension et couvre actuellement 4085 ha soit 33,6 % de la superficie totale irriguée de la région. Il est pertinemment le système dont l'étendue est la plus importante.

5. Le modèle:

5.1 fonctions objectifs

Dans la mesure où il est envisagé de concevoir un schéma allocatif optimal de l'eau d'irrigation en cas où les ressources en eau sont extrêmement rares et dont la quasi-totalité est non renouvelable (eaux fossiles), le décideur est supposé optimiser au moins trois objectifs principaux :

(i) la maximisation de la valeur ajoutée : cet objectif traduit un souci classique de rentabilité et d'allocation efficiente de l'eau. Dans cette optique l'allocation de l'eau favorise les usagers (les systèmes de production) les plus efficaces et ayant le rapport le plus élevé.

$$\text{Max} \quad \text{MB} = \sum_{j=1}^7 (\text{MB})_j X_j$$

Max

MB = Marge Brute

(MB)_j = Marge brute unitaire par hectare correspondante au système de production j.

X_j = La superficie occupée par le système de production j.

(ii) la minimisation de la consommation de l'eau : cet objectif traduit le souci de gérer durablement les ressources en eau. Sous cet angle, le schéma allocatif efficace favorise cette fois-ci les usagers les moins consommateurs d'eau et les moins gaspillants.

$$\text{Min} \quad \text{CE} = \sum_{j=1}^7 (\text{CE})_j X_j$$

Min

CE : Consommation en Eau totale de tous les systèmes de production dans la région.

(CE)_j : Consommation en eau par hectare correspondante au système de production.

X_j : La superficie occupée par le système de production j.

(iii) la minimisation des surplus des irriguants : dicté par les impératifs de la politique nationale de tarification de l'eau d'irrigation en agriculture, cet objectif vise à minimiser la rente de l'irrigation consécutive à des niveaux faibles de redevance de l'eau d'irrigation en proposant un accroissement raisonné de ses tarifs. Il répond entre autre aux soucis d'impliquer davantage les usagers au recouvrement du coût de l'eau d'une part et de les inciter à économiser et à acquiescer un comportement responsable vis à vis de l'usage de l'eau.

$$\text{Min} \quad \text{S} = \sum_{j=1}^7 s_j X_j$$

Min

S : Surplus partiel total des irriguants de tous les systèmes de production de la région.

s_j : surplus unitaire par hectare correspondant aux irriguants du système de production j

X_j : La superficie occupée par le système de production j.

On constate qu'une relation conflictuelle marque déjà le premier objectif et les deux derniers. La recherche d'une solution efficiente de compromis peut aider à la gestion de ce type de conflits.

5.2 Formulation des contraintes

5.2.1 Contraintes liées au foncier et à l'occupation des sols

- Superficie potentielle réglementaire mise en valeur dans la région (SAU1)

L'ensemble des superficies occupées par les divers systèmes de production (X1 à X7) ne doit pas excéder la superficie (SAU₁) prévue par le programme réglementaire de mise en valeur envisagé par les services techniques

$$\sum_{j=1}^7 X_j \leq SAU_1$$

et qui dépend des disponibilités hydriques. Cette contrainte s'exprime comme suit :

avec SAU₁ = 8167 ha

- Développement et consolidation des acquis de mise en valeur

Au vu de l'importance des ressources en eau déjà mobilisées et qui ont nécessité des investissements publics importants et afin de préserver un niveau adéquat de développement pour ces zones défavorisées (Impératif de développement régional...), il est légitime de supposer qu'au minimum les superficies mises en valeur reconnues légales et réglementaires soient maintenues (SAU₂). Cette contrainte est traduite mathématiquement comme suit :

$$\sum_{j=1}^6 X_j \geq SAU_2 \quad \text{avec} \quad SAU_2 = 8111 \text{ ha}$$

- Contraintes liées aux systèmes de production

. la superficie acquise (SAUG) du système géo-serricole (X5) est au moins à maintenir.

$$X_5 > SAUG \quad \text{avec} \quad SAUG = 38 \text{ ha}$$

. elle ne devrait pas non plus excéder la superficie maximale fixée par la stratégie nationale de géothermie (SAUGM) X₅ < SAUGM avec SAUGM = 105 ha

. l'extension des superficies occupées (SAUSO) par la SODAD (X6) n'est pas envisageable.

$$X_6 < SAUSO \quad \text{avec} \quad SAUSO = 445 \text{ ha}$$

. l'extension de la superficie du système (X7) des exploitations sur forages "illicites" (SAUILL) est absolument exclue. Cependant l'existence du système en tant que système de production est possible.

$$X_7 < SAUILL \quad \text{avec} \quad SAUILL = 4085 \text{ ha}$$

La compétition entre les différents systèmes de production est laissée complètement libre. L'existence d'un système de production, dans la solution optimale, ne dépend que de ses caractéristiques techniques introduites dans le modèle.

5.2.2 Contraintes liées aux ressources en eau

- Ressources en eau potentiellement mobilisables

Etant donné les potentialités des ressources en eau mobilisables allouées au secteur agricole (R₁), la consommation totale des systèmes de production ne doit pas dépasser ces limites.

$$\sum_{j=1}^7 (CE)_j X_j \leq R_1 \quad \text{avec} \quad R_1 = 174,5 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

- Incitation à l'exploitation des ressources en eau déjà mobilisées

Compte tenu des investissements importants et des efforts déployés pour mobiliser les ressources en eau, il est légitime d'espérer une exploitation maximale des ressources déjà exaurées R₂ (tenant compte des heures de pompage, des pannes etc.) R₂ < R₁.

$$\sum_{j=1}^7 (CE)_j X_j \geq R_2 \quad \text{avec} \quad R_2 = 138 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

- Ressources en eau pendant la période de pointe

S'agissant d'un contexte désertique, les consommations en eau les plus fortes et les plus contraignantes correspondent à la période de chaleur où l'évapotranspiration est très forte et à laquelle correspondent les niveaux d'activité les plus élevés dans les oasis. D'autre part certains systèmes sont plus consommateurs pendant cette période.

L'on supposera par conséquent que la consommation totale des systèmes de production n'excédera pas les ressources disponibles potentielles (R₃) pendant cette période

$$\sum_{j=1}^7 (CEP)_j X_j \leq R_3 \quad \text{avec} \quad R_3 = 80 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

(CEP)_j : Consommation en Eau unitaire par hectare pendant la période de Pointe du système j

- Ressources géothermales

Ce type de ressources est particulièrement contraignant pour le système géo-serricole (SP5) qui les utilise pour le chauffage. La consommation totale (CE)5 du système SP5 en ce type de ressources ne doit pas dépasser les ressources disponibles (R4).

$$(CE)5 X5 < R4 \quad \text{avec} \quad R4 = 30 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

5.2.3 Contraintes financières

Ce type de contraintes est très intéressant dans la mesure où il traduit la faculté des exploitants de pouvoir répondre à toute hausse relative aux redevances à l'eau d'irrigation.

Les analyses de sensibilité ont toutefois révélé que ce type de contraintes intervient assez marginalement dans la détermination des solutions optimales, et ce probablement à cause de la prédominance des autres contraintes, ce qui les empêche à jouer véritablement un rôle déterminant dans la recherche des solutions optimales.

5.3 Formulation globale du modèle

Compte tenu de ce qui a été avancé plus haut, la formulation complète du modèle multi-objectifs peut être synthétisée ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \text{MB} = \sum_{j=1}^7 (\text{Mb})_j X_j && \text{(en dinars)} \\ \text{Min} \quad & \text{CE} = \sum_{j=1}^7 (\text{CE})_j X_j && \text{(en 1000 m}^3\text{)} \\ \text{Min} \quad & \text{S} = \sum_{j=1}^7 s_j X_j && \text{(en dinars)} \end{aligned}$$

Sachant que :

- 1) $\sum_{j=1}^7 X_j \leq 8167 \text{ (ha)}$
- 2) $\sum_{j=1}^6 X_j \geq 8111 \text{ (ha)}$
- 3) $X5 \geq 38 \text{ (ha)}$
- 4) $X5 \leq 105 \text{ (ha)}$
- 5) $X6 \leq 445 \text{ (ha)}$
- 6) $X7 \leq 4085 \text{ (ha)}$
- 7) $\sum_{j=1}^7 (\text{CE})_j X_j \leq 174500 \text{ (1000 m}^3\text{)}$
- 8) $\sum_{j=1}^7 (\text{CE})_j X_j \geq 138000 \text{ (1000 m}^3\text{)}$
- 9) $\sum_{j=1}^7 (\text{CEP})_j X_j \leq 80000 \text{ (1000 m}^3\text{)}$
- 10) $(\text{CE})5 X5 \leq 30000 \text{ (1000 m}^3\text{)}$

La description numérique du modèle de base est offerte par le tableau 1.

Tableau 1- Description numérique du modèle de base

Système de production	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Relation	Niveau des contraintes
SAU1	1	1	1	1	1	1	1	\leq	8167 ha
SAU2	1	1	1	1	1	1	-	\geq	8111 ha
SAUG (Min)	-	-	-	-	1	-	-	\geq	38 ha
SAUG (Max)	-	-	-	-	1	-	-	\leq	105 ha
SAUSO	-	-	-	-	-	1	-	\leq	445 ha
SAUILL	-	-	-	-	-	-	1	\leq	4085 ha
Consommation totale en eau (1000 m3/ha/an) Max	7,2	25,239	11,744	34,115	21,825	12,662	26,966	\leq	174500
Consommation totale en eau (1000 m3/ha/an) Min	7,2	25,239	11,744	34,115	21,825	12,662	26,966	\geq	138000
Consommation en eau(période de pointe (1000 m3/ha/an)	4,112	12,529	6,020	22,736	0,356	6,906	19,668	\leq	80000
Consommation en eau géothermale (1000 m3/ha/an)	-	-	-	-	21,825	-	-	\leq	30000
Max MB (DT/ha)	2298	4842	3138	1086	25800	1710	887	Max	
Min CE (1000m3/ha/an)	7,2	25,239	11,744	34,115	21,825	12,662	26,966	Min	
Min S (DT/ha)	346	1716	705	2286	1440	684	593	Min	

Sources : propres enquêtes
pour X6 : SODAD (1994)
pour niveau de contraintes : CRDA Kébili (1994)

6. Résultats et discussions

6.1 Optimisation séparée des fonctions d'objectifs

L'intérêt de cette étape est d'étudier les solutions efficaces correspondantes à l'optimisation séparée de chacune des fonctions objectifs. Elle permet aussi d'obtenir le tableau de Pay off.

- **Max MB** : comme le montre le tableau 2 la marge brute atteint son niveau maximum soit 36,235 MD/an avec une consommation en eau correspondante de 162,133 Mm3/an et un niveau maximum de surplus de 10,716 MD/an. La combinaison des systèmes de production qui permet d'atteindre cet objectif est formée des systèmes de production SP2, SP3, et SP5 avec des superficies respectives de 4829, 3233 et 105 hectares. Il se révèle également une utilisation maximale des superficies disponibles légalement reconnus (8167 ha). Les systèmes SP1, SP4, SP6 et SP7 ne figurent pas dans la solution optimale. Concernant les ressources en eau, cette solution optimale n'engendre pas l'utilisation totale des ressources en eau disponibles (174,5 Mm3/an) et permet de préserver une quantité de ressource de 12,366 Mm3/an.

- **Min CE** : en visant l'objectif, de minimisation de la consommation en eau, la solution optimale correspond à un minimum de volume consommé de 138,022 Mm3/an mais à une chute de la valeur de la marge brute au niveau le plus bas (22,767 MD/an). Dans ces conditions, la combinaison productive comprend quatre systèmes de production SP2, SP3, SP4 et SP5 avec des superficies respectives de 36; 6249; 1843 et 38 ha. On peut remarquer à ce propos qu'en se référant à la solution optimale précédente, celle-ci marque la prédominance du système SP3 et le maintien du système SP5 à son occupation la plus faible (38 ha existant). Ce constat illustre bien la préférence aux systèmes de production peu consommateurs d'eau par rapport à leur marge brute. Cette solution optimale permet entre autre de préserver un reliquat de 36,477 Mm3/an d'eau.

- **Min. S** : si l'on privilégie l'objectif de minimisation de surplus des irriguants, l'optimisation se traduit par un niveau de surplus de 8,566 MD/an (niveau le plus bas). Cependant la marge brute correspondante n'atteint que 23,034 MD/an avec une consommation en eau de 138,063 Mm3/an. Quant à la combinaison productive qui en résulte, elle intègre tous les systèmes de production sauf le système SP3. Ce qui situe cette solution optimale à l'opposé des deux précédentes. Dans le même ordre d'idée, le système SP1 et SP6 qui n'étaient pas intégrés dans les premières solutions optimales, occupent dans une position importante avec respectivement 4266 et 445 ha. La solution optimale résultant de la minimisation de surplus permet elle aussi de préserver un reliquat de 36,437 Mm3/an par rapport aux ressources totales potentielles.

Tableau 2 : Résultats de l'optimisation séparée des fonctions objectifs

Objectifs	MB	CE	S	Occupation des sols (ha)							RNET	
	MD/an	Mm3/an	MD/an	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	Total	Mm3/an
Max MB	36,235	162,133	10,716	-	4829	3233	-	105	-	-	8167	12,366
Min CE	22,768	138,022	8,736	-	36	6249	1843	38	-	-	8167	36,477
Min S	23,034	138,063	8,566	4266	1633	-	1662	105	445	56	8167	36,437

RNET : Ressources Non Exploitées Totales

Source : propres calculs

Les trois solutions optimales conduisent à une utilisation totale des superficies mises en valeur légalement reconnues. Quant aux schémas allocatifs correspondants, ils permettent en général une exploitation convenable des ressources en eau avec une épargne de 12 Mm3/an en cas de la maximisation de la marge brute et 36 Mm3/an (le triple) dans les deux autres cas. Ce fait illustre bien la mésallocation des ressources en eau dans la mesure où on se permet, simultanément de maximiser la marge brute, et d'épargner quant même une quantité de ressources disponibles. Il est à signaler, par ailleurs, que le coût d'opportunité de l'eau d'irrigation, pendant la période de pointe, est élevé et il est estimé à 0,262 DT/m3.

D'autre part, l'optimisation séparée des fonctions objectifs confirme la difficulté de concilier ces objectifs. Il semble, à cette étape, presque impossible de définir même un ensemble assez large de solutions efficaces, ce qui justifie amplement de pousser plus loin les analyses par le recours à la technique de programmation multiobjective et de compromis. Cette étape nous permet également de définir la matrice de Pay off du modèle à triple objectifs.

6.2. Optimisation multiobjective : objectifs pris deux à deux (Méthode NISE)

La deuxième étape d'approximation consiste en l'application de la méthode NISE en considérant les objectifs deux à deux.

1- Max MB et Min CE.

2- Max MB et Min S.

6.2.1 Solution optimale de compromis entre Max MB et Min CE

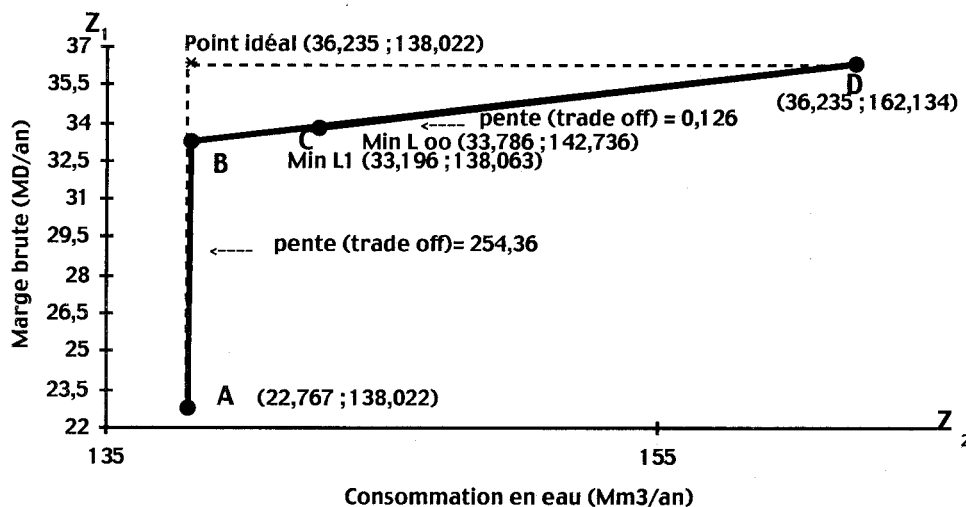


Figure 1- Courbe de trade off pour la marge brute et la consommation en eau

Comme l'illustre la figure 1, la zone d'efficacité se situe tout au long de la courbe de trade-off entre les points A et D. La consommation en eau d'un mètre cube additionnel réduit la marge brute de l'équivalent de 254 dinars sur le segment AB, alors que sur le segment BD, cette réduction engendre un effet presque négligeable sur le résultat économique. Cependant, la zone de compromis des solutions efficaces les plus performantes (la plus proche du point idéal), en considérant les deux objectifs simultanément, est déterminée par les deux limites L_1 (point B) et L_∞ (point C). Le tableau 3, récapitulant les caractéristiques des points extrêmes de la courbe de trade off, révèle que seuls les systèmes SP2, SP3 et SP5 figurent dans l'ensemble des solutions optimales y compris celles de la zone de compromis. Les superficies respectives sont situées de 3044 à 3391 ha, de 4670 à 5017 ha, et de 105 ha.

La zone de compromis permet de garantir une marge brute comprise entre 33,196 et 33,786 MD/an, une consommation en eau comprise entre 138,063 et 142,736 Mm3/an d'eau avec une quantité de ressources en eau épargnée comprise entre 31,746 et 36,437 Mm3/an. Elle permet également de situer le surplus des irriguants à un niveau compris entre 8,9 et 9,3 MD/an.

Tableau N° 3: Caractéristiques des points extrêmes des solutions efficientes possibles (Max MB et Min CE).

Points	Fonctions objectifs			Occupation des SP (ha)							Reliquats (Mm3/an)		
	Z1 Max MB (MD)	Z2 Min CE (Mm3)	Z3 Min. S (MD)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Res. eau Total	Res.Pe ri. pointe	Res.Géo
D	36,235	162,134	10,716	-	482 8,6	323 3	-	105	-	-	12,366	0	27,708
A	22,768	138,022	8,736	-	36	624 9	184 3	38	-	-	36,477	0	29,170
B(L1)	33,196	138,063	8,913	-	304 4	501 7	-	105	-	-	36,437	11,610	27,708
C(Loo)	33,786	142,736	9,263	-	339 1	467 0	-	105	-	-	31,764	9,356	27,708

Source : propres calculs.

6.2.2 Solutions optimales de compromis en cas de Max MB et Min S

La figure 2 montre que la courbe de trade off pour la marge brute et le surplus des irriguants se situe entre le point I (8,566 ; 23,339) et le point M (10,716 ; 36,235) et se caractérise par 4 points extrêmes dont les caractéristiques sont récapitulés au tableau 4. La figure 2 révèle qu'au niveau du segment IJ, une réduction des surplus des irriguants d'un dinar, provoquerait une chute d'environ 37 fois sa valeur (36,8 dinars) de la marge brute correspondante et réciproquement. Ce rapport n'est que de 2,19 fois et de 1,68 fois respectivement pour les segments JK et KM. Ceci montre que l'impact d'une hausse des tarifs de l'eau d'irrigation aurait un effet considérable sur le niveau de la marge brute si le décideur vise la réduction du niveau de surplus au dessous de la barre de 8,8 MD/an (point J sur la figure 2). Alors que l'effet de cette hausse a un effet moindre au delà de cette barre.

La zone des solutions efficientes les plus performantes qui correspond au segment JK permet d'une part de garantir un niveau de marge brute compris entre 32,962 et 33,462 MD/an et d'autre part de réduire le surplus à un niveau très bas situé entre 8,843 et 9,071 MD/an.

Là aussi, la zone d'efficience de compromis n'intègre que les systèmes SP2, SP3 et SP5 avec toutefois la présence du système SP7 (56 ha) illustrant tout de même qu'il est plus compétitif que les autres systèmes (SP1, SP4 et SP6). Le système SP5 (géo-serricole) semble être assez compétitif et se maintient à 105 ha (niveau maximum) pour toutes les solutions.

D'autre part, l'ensemble des solutions efficientes de la zone de compromis, permet une utilisation d'un volume d'eau d'irrigation compris entre 138 et 140 Mm3 engendrant ainsi l'épargne d'une quantité disponible d'environ 35 Mm3/an.

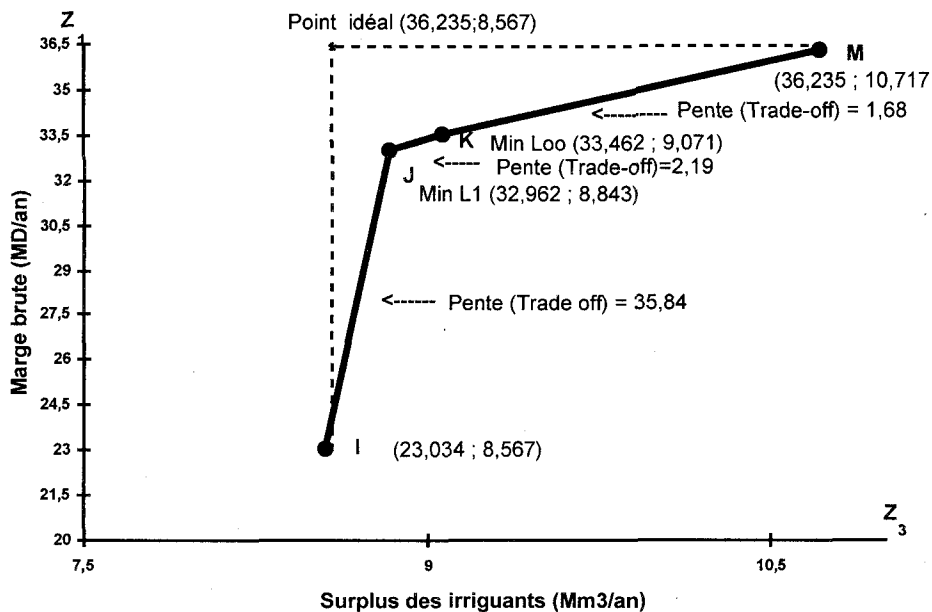


Figure 2: Courbe de trade-off pour Max MB et Min S.

Tableau 4- Caractéristiques des points extrêmes traduisant les solutions efficaces possibles (Max MB et Min S)

Points	Fonctions objectifs			Occupation des SP (ha)							Reliquats (Mm3/an)		
	Z1	Z2	Z3	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Res. eau	Res.Per.	Res.Géo
	Max MB	Min CE	Min. S								Total	pointe	
M	36,235	162,134	10,716	-	4828	3233	-	105	-	-	12,366	0	27,708
I	23,034	138,063	8,566	4266	1632	-	1662	105	445	56	36,477	0	27,708
J(L1)	32,962	138,063	8,843	-	2982	5024	-	105	-	56	36,437	11,257	27,708
K(e)	33,462	140,171	9,071	-	3201	4861	-	105	-	-	34,329	10,593	27,708

Source : propres calculs.

6.3 Approximation de la zone d'efficacité basée sur les zones de compromis

L'analyse des deux courbes de trade off et des zones de compromis respectives permet de distinguer une zone d'intersection entre elle. Par conséquent il y a lieu de combiner les deux zones de compromis et obtenir une zone de compromis commune permettant d'une part de rétrécir et préciser davantage l'ensemble des solutions efficaces et d'autre part de prendre en considération les trois objectifs simultanément.

Cette démarche progressive a abouti à l'identification d'une zone de compromis commune dont la limite inférieure est définie par le point B (L1) du tableau 3 et la limite supérieure se confond avec le point K (L_{∞}) du tableau 4. Elle permet de garantir une marge brute totale comprise entre 33,196 et 33,462 MD/an avec des consommations en eau d'irrigation situées entre 138 et 140,17 Mm3/an. La fourchette des surplus correspondants est comprise entre 8,913 et 9,071 MD/an.

Tableau 5 - Caractéristiques de la zone optimale de compromis résultant de l'approximation Max MB, Min CE et Min S).

Valeur	Fonctions objectifs			Occupation des SP (ha)			Reliquats (Mm3/an)			alloc. Res. Eau (Mm3/an)		
	Z1 Max MB MD/an	Z2 Min CE Mm3/an	Z3 Min S MD/an	X2	X3	X5	Ress. totales en eau	Ress. Pério. Pointe	Ress. Géo.	SP2	SP3	SP5
Limite inf. B (L1)	33,196	138,063	8,913	3044	5017	105	36,437	11,610	27,708	76,8	57,1	2,3
Limite sup. K(Loo)	33,462	140,171	9,071	3201	4861	105	34,329	10,593	27,708	80,8	58,9	2,3

Source: propres calculs.

Comme l'illustre le tableau 5, l'optimisation simultanée des trois objectifs, envisage un schéma d'occupation caractérisé par des superficies respectives comprises entre 4861 et 5017 ha pour le système SP3, 3044 et 3201 ha pour le système SP2 et une superficie de 105 ha pour le système SP5. Cette situation optimale mène au modèle allocatif défini par les quantités respectives comprises entre 77 et 81 Mm3/an, entre 57 et 59 Mm3/an et de 2,3 Mm3/an correspondantes aux systèmes SP2, SP3 et SP5. Par ailleurs, cet ensemble de solutions optimales permet d'épargner un volume annuelle d'eau compris entre 34,3 et 36,4 Mm3/an soit environ 21% des ressources potentielles

6.4 Approximation des solutions efficaces et optimisation simultanée des trois fonctions objectifs

La recherche d'une solution optimale unique de référence est l'étape ultime du processus d'approximation. Cette opportunité est rendue possible en programmation multiobjective et de compromis grâce à l'optimisation simultanée des trois objectifs (ROMERO et *al.*, 1989). Dans ce cas, l'objectif principal serait la maximisation de la marge brute dans les conditions imposées par les deux autres objectifs.

Compte tenu des résultats des étapes antérieures des analyses, l'idée de respecter un objectif de consommation en eau ne dépassant pas celle des systèmes retenus par les solutions optimales à 162 Mm3 semble répondre aux deux soucis majeurs à savoir la valorisation des ressources en eau déjà mobilisées et leur allocation aux usagers les plus performants (efficaces). D'autre part, les analyses antérieures ont révélé que le surplus des irriguants peut être fixé à un niveau acceptable de 9 MD. Le modèle de programmation multiobjective prend alors la formulation suivante :

Max MB
Sachant que

CE < b1 = 162,134 Mm3
S < b2 = 9 MD avec l'ensemble des contraintes de la formulation initiale.

Tableau 6 - Caractéristiques de la solution optimale en cas d'optimisation simultanée des trois objectifs.

Fonction objectifs	MB (MD/an)	CE (Mm3/an)	S (MD/an)
			33,342
			139,221
			9
		Occupation initiale	Solution optimale
Occupation des SP (ha)	X1	2855 (23,4%)	0
	X2	2948 (24,2%)	3131 (38,34 %)
	X3	895 (7,0%)	4931 (60,38 %)
	X4	968 (7,9%)	0
	X5	38 (0,3%)	105 (1,28 %)
	X6	445 (3,6%)	0
	X7	4085 (33,6%)	0
	Total	12196 (100%)	8167 (100 %)
Reliquats des ressources en eau (Mm3/an)	Res. Totales		35,279
	Res. période de pointe		11,057
	Res. géothermales		27,708
Consommation en eau (Mm3/an)	SP2		79,02 (56,76 %)
	SP3		57,91 (41,6 %)
	SP5		2,28 (1,64 %)
	Total		139,221 (100 %)

source : propres calculs

La résolution du modèle aboutit comme le montre le tableau 6 à une solution optimale définie par une marge brute de 33,342 MD/an, une consommation en eau d'irrigation de 139,221 Mm3/an et un surplus de 9 MD/an.

Les systèmes de production retenus sont SP2, SP3 et SP5 avec des superficies respectives de 3131 (38 %), 4931 (60,4 %) et 105 hectares (1,3 %). Comparée à la situation initiale, la solution optimale de compromis (optimisation simultanée) révèle que le système SP3 passe d'une occupation de 7 % à 60 % de la superficie totale, SP2 passe de 24 % à 38 % et SP5 de 0,3 % à 1,3 %. Alors que les autres systèmes disparaissent, notamment SP6 et SP7. Cette situation correspond à l'orientation retenue par les pouvoirs publics qui oeuvrent pour juguler les extensions illicites. Cependant, la disparition de SP6 (SODAD) de la solution optimale reflète les difficultés que rencontre cette entreprise face aux problèmes socioprofessionnels et aux contraintes de production en général.

Quant au schéma allocatif correspondant, il prévoit l'allocation de 57 % (79 Mm3/an) environ, des ressources en eau, au système SP2 et ce en dépit du fait qu'il ne représente que 38 % de la superficie totale mise en valeur. Les ressources allouées au système SP3 sont évaluées à 58 Mm3/an soit 41,6 % des ressources totales allouées alors que l'allocation correspondant au système géo-serricole est estimée à 2,28 Mm3/an soit 1,64 % des ressources totales.

Comme on peut le constater, cette solution optimale est située dans la zone d'intersection des deux zones de compromis, objet de la première approximation. La solution optimale prend alors les coordonnées respectives de (33,342 ; 139,221) et (33,342 ; 9) sur les deux courbes de trade off sur les figures 1 et 2.

6.5 Analyse de sensibilité des solutions optimales et améliorations du modèle de base

Des analyses de sensibilité des solutions optimales ont été réalisées dans le but de tester la stabilité des solutions optimales en cas de variations relatives à la hiérarchisation des objectifs ou aux limites des deux fonctions objectifs fixées lors de l'optimisation simultanée. Ces analyses ont montré une constance relative des solutions optimales de compromis lorsqu'on fait varier la hiérarchisation des objectifs. En effet, doubler le poids de l'objectif Max MB n'a pas d'effets sur la solution de base.

Concernant la solution optimale résultant de l'optimisation simultanée des trois objectifs ensemble, les analyses de sensibilité ont montré qu'il est impossible de trouver une solution optimale si l'on veut descendre à un niveau de surplus inférieur à 8 MD/an. Un niveau de surplus fixé à 8,7 MD/an permet, malgré tout, de maintenir la marge brute à 31,2 MD/an correspondant à une consommation totale en eau de 138,073 Mm3/an. Cette solution optimale révèle la possibilité de maintenir la consommation en eau des systèmes de production au niveau le plus bas d'environ 138 Mm3/an (définie par les contraintes initiales) et de faire baisser le surplus au niveau de 8,7 MD/an sans pour autant que la réduction de la marge brute soit notable. En effet, on sacrifie seulement 5 MD (différence entre 36 et 31 MD) de marge brute pour préserver environ 24 Mm3/an. La marge brute se maintient quand même à un niveau supérieur à 31 MD/an (31,2 MD/an).

Lorsqu'on modifie l'hypothèse initiale en intégrant le système SP7 qui est considéré jusque là comme

$$\sum_{j=1}^7 X_j \geq 8111$$

illicite, l'équation de la deuxième contrainte prend la forme de :

les résultats révèlent qu'il n'y a pas d'effet notable sur la solution optimale en cas de Max MB et Min CE. Par contre, la solution optimale subit des changements notables surtout au niveau de l'occupation des sols, en cas de Min S. En effet, cette nouvelle formulation permet aux systèmes SP6 (SODAD) et SP7 d'occuper une bonne place avec des superficies respectives de 445 ha (maximum permis par les hypothèses) et 1809 ha. Comparée à la solution initiale, celle-ci permet d'atteindre un niveau plus bas de surplus des irriguants (6,6 MD/an), de maintenir constante la consommation en eau (138,063 Mm³/an) et d'engendrer une légère amélioration de la marge brute (24,956 MD/an).

L'optimisation simultanée des trois fonctions objectifs mène à la même solution optimale obtenue initialement. Ce qui permet de conclure que même en situation de libre compétition, le système des exploitations illicites n'arrive pas à se confirmer dans la solution optimale en cas d'optimisation simultanée des trois objectifs. Ce résultat vient conforter la position des pouvoirs publics à s'opposer à l'extension de ce type de système.

Une autre modification est justifiée lorsque, les pouvoirs publics décident d'intégrer les exploitations illicites existantes pour des raisons socio-économiques. La superficie potentielle réglementaire permise passe alors à 12196 ha. La formulation mathématique des deux premières contraintes initiales devient la suivante :

$$\sum_{j=1}^7 X_j \leq 12196 \text{ ha} \quad \text{et} \quad \sum_{j=1}^7 X_j \geq 8111 \text{ ha}$$

Les résultats du modèle, ainsi modifié, révèle l'absence des systèmes SP1, SP4, SP6 et SP7 de la solution optimale en cas de Max MB et Min S. Cependant, elle se trouve dominée par le système SP3 (10983 ha) en cas de Max MB et par SP1 (9393 ha) en cas de Min CE. Le système SP5 est maintenu dans les deux cas à son niveau maximum permis (105 ha). D'autre part, la marge brute correspondante se situe respectivement à 37,3 et 42,5 MD/an avec une consommation en eau de 138 et 159 Mm³/an. L'optimisation simultanée des trois objectifs permet d'aboutir à une marge brute de 41,2 MD/an à laquelle correspond une consommation en eau de 148,6 Mm³/an et un surplus de 9 MD/an (solution 3, tab. 5.11). L'occupation des sols retenue est marquée par l'absence des systèmes SP6 et SP7 et la prédominance du système SP3 (11770 ha).

Ces résultats mènent à conclure que même si les pouvoirs publics acceptent une extension des superficies maximales à 12196 pour donner la chance aux exploitations illicites (SP7), celles-ci ne semblent pas être compétitives par rapport aux systèmes SP2, SP3 et SP5 et en se référant à la situation actuelle. Une telle décision permettrait seulement une extension remarquable du système SP3. Au point de vue pratique, elle se traduirait vraisemblablement par la transformation des exploitations illicites suivant le modèle SP3. Cette orientation n'est pas exclue, surtout si l'on sait que potentiellement, cette transformation pourrait être autonome et ne semble pas être techniquement difficile.

Conclusion

L'application des méthodes de programmation multiobjective et de compromis au cas étudié, a révélé qu'il est possible d'établir des schémas allocatifs des ressources en eau qui optimisent l'allocation de l'eau d'irrigation vis à vis des divers systèmes de production existants et qui peuvent concilier entre objectifs conflictuels notamment la maximisation de la rentabilité économique des systèmes et la minimisation de la consommation en eau et des surplus des irriguants.

Se référant au cas d'étude, il s'avère que les systèmes de production modernes axés, soit sur la production dattière "Deglat Nour" (SP2 et SP3), soit sur la production maraîchère chauffée par les eaux géothermales (SP5), sont retenus par les solutions optimales d'une manière presque exclusive en cas d'optimisation des deux objectifs de maximisation de la marge brute et de minimisation de la consommation en eau. Dès qu'on commence à intégrer l'objectif de minimisation du surplus des irriguants, le système SP3 disparaît de la solution optimale en raison de la faiblesse remarquable des redevances de l'eau d'irrigation appliquées aux irriguants.

Il convient de signaler également que les systèmes de production SP6 (SODAD) et SP7 (exploitations sur puits illicites) qui sont supposés être compétitifs, semblent être peu intéressants par rapport à la formulation initiale du modèle et ne figurent que marginalement dans les solutions optimales définies par les zones de compromis. Ils ne prennent de l'importance que si l'on prend en compte les deux objectifs, Max MB et Min S. Evidemment, ils peuvent être intéressants par rapport à d'autres objectifs et pour des contraintes différentes.

L'approximation de la zone d'efficacité de compromis, résultant de l'optimisation des objectifs deux à deux, permet d'identifier des solutions optimales qui se traduisent par une marge brute comprise entre 33,196 et 33,462 MD/an. Elle permet également de réduire le volume d'eau d'irrigation consommé et le surplus des

irriguants à des niveaux respectifs allant de 138 à 140,171 Mm³/an et de 8,913 à 9,071 MD/an. Ceci se traduit par la préservation d'un reliquat de ressources en eau compris entre 34 et 36 Mm³/an soit environ 21 % des ressources potentiellement exploitables.

L'optimisation simultanée des trois fonctions objectifs a l'avantage d'identifier une solution optimale de référence qui est comprise dans les solutions optimales offertes par la première approximation. Cette solution optimale de référence est intéressante dans la mesure où elle offre au décideur un outil plus opérationnel. Elle permet de préciser les mêmes tendances exposées plus haut et se caractérise par une marge brute de 33,342 MD/an, une consommation en eau de 139,221 Mm³/an et d'un surplus de 9 MD/an. Elle engendre, par ailleurs, un reliquat de ressources non exploitées de 35,279 Mm³/an.

D'autre part, les tests de sensibilité, effectués sur la formulation initiale, ont révélé une relative stabilité des solutions optimales identifiées, quant on modifie les poids accordés aux différents objectifs. Si la contrainte légale d'interdiction est levée pour le système SP7 (sa superficie est alors intégrée dans celle permise par les pouvoirs publics), la solution optimale ne subit pas de changements notable en général et le système SP7 reste peu compétitif. Une telle décision engendre l'extension du système SP3, assimilant les exploitations illicites qui sont vouées à se transformer.

En définitif, cette dernière partie a montré qu'il est possible de pousser la rationalisation de l'exploitation des ressources en eau en agriculture au delà du simple recours à l'instrument de tarification en utilisant les méthodes de programmation multiobjective et de compromis aux niveaux micro-économique et régional.

En effet ce deuxième niveau d'optimisation permet de concilier des objectifs en apparence opposés et abouti à des schémas allocatifs qui ne tiennent pas uniquement compte de l'objectif de maximisation du résultat financier du système de production mais encore de la préservation des ressources en eau.

Pendant, l'on peut remarquer que les résultats exposés plus haut sont liés au corps des hypothèses de départ du modèle. D'autre part, à travers cet exercice de modélisation de l'allocation des ressources en eau, l'on ne prétend pas concevoir un modèle explicatif du fonctionnement des systèmes de production. Un tel modèle nécessitera l'intégration d'autres critères, d'autres contraintes et d'autres objectifs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Are Kebili (1994) : Exploitation des nappes profondes à Kébili. Note interne.
- Arrow K.J., Raynaud A. (1986) : Social choice and multicriterion decision-making, MIT Press, Cambridge.
- Ben Said M., Ben Zaid A.S. (1980) : Agriculteurs tunisiens face aux impératifs de l'intensification. *Economie rurale*, n° 135., pp 28-37.
- Brossier J. (1987) : Système et système de production. Note sur ces concepts. *Cahiers de Sciences Humaines*, Editions de l'ORSTOM, Vol 23 (3-4), Paris, p. 89.
- CRDA de Kébili (1994) : Compte rendu des activités de l'année 1993. 119 p.
- Deffontaines J.P., Petit M. (1985) : Comment étudier les exploitations agricoles d'une région ? Présentation d'un ensemble méthodologique, INRA-SAD Dijon, 47 p.
- Dgre (1990) : Stratégie pour le développement des ressources en eau de la Tunisie au cours de la décennie 1991-2000. 30 p. + annexes.
- Floret Ch., Pontanier R. (1982) : L'aridité en Tunisie présaharienne, climat, sol, végétation et aménagement, ORSTOM, Paris, 544 p.
- Gih (1986) : Situation des associations d'intérêts collectifs dans le gouvernorat de Kebili. Rapport, 16p.
- Hamdi L. (1988) : Gestion des ressources en eau. Rationalité des agriculteurs dans la consommation d'eau d'irrigation. Cas du périmètre de Mejez El Bab - Tunisie. Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation INAT.
- Horchani A. (1994) : Gestion des ressources en eau en Tunisie. Min.Agr. Tun 10p.
- Labrousse Ch. (1980) : Introduction à l'économétrie. Dunod, Paris, France.
- Malassis L. (1978) : Formation et développement des systèmes agricoles de production, IRAT, Montpellier, 13 p.
- Marshal P. (1973) : Méthodes d'analyse statistique des entreprises agricoles. INA, Paris - Grignon (5 fascicules).
- Romero C., Amador F., Barco A. (1987) : Multiple objectives in agricultural planning, a compromise programming application. *Am. J. Agr. Eco.*, p. 79-86.
- Romero C., Rehman T. (1989) : Multiple criteria analysis for agricultural decisions. Elsevier. Amesterdam.
- Roy B. (1989) : Main sources of inaccurate determination, uncertainty and imprecision in decision models, models and methods in multiple criteria decision, Editor RODIN E.Y, Pergamon Press, Oxford, p. 1245-1254.
- Schrage L. (1986) : Linear, integer and quadratic programming with LINDO. Scientific Press, USA, 89 p.

- Selmi A. (1991) : Validation micro-économique et transition au marché : Les systèmes de production agricoles en Tunisie. Séminaire sur la politique agricole tunisienne. DGPDI (MIN. AGR.) et FAO, 11 p.
- Sghaier M. (1995) : Tarification et allocation optimale de l'eau d'irrigation dans les systèmes de production de la région oasienne de Nefzaoua (sud de la Tunisie). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Gand, Belgique, 235 p.
- Sodad (1994) : Rapport d'activité 1993.
- Van Huylbroeck G. (1993) : The conflict analysis method, bridging the gap between Electre, Promothée and Oreste, *European Journal of Operational Research* (82), North-Holland, p. 490-502.
- Vincke Ph. (1989) : L'aide multicritère à la décision, Editions de l'Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, 179 p.
- Yu P.L (1973) : A class of solutions for group decision problems, *Management science*, Vol (19), p. 936-946.
- Zekri S. (1991) : Modelos decisionales multicriterio en planificacion agraria: objetivos economicos versus objetivos ambientales, Tesis doctoral, universidad de Cordoba.
- Zeleny M.O. (1974) : Linear multiobjective programming , Spinger-Verlag, Berlin.

IMPACT DU COMMERCE INFORMEL SUR LE MILIEU RURAL EN TUNISIE

ETUDE DE CAS : LA DYNAMIQUE TRANSFRONTALIERE TUNISO-LIBYENNE

*LAROUSSI Kamel
Institut des Régions Arides
4119 Medenine - Tunisie*

RESUME

L'ouverture des frontières Tuniso-Libyennes et suite à la construction de l'Union du Maghreb Arabe (accords du 17 février 1989), la région du sud-est tunisien est devenue le lieu privilégié d'une dynamique socio-économique sans égale dans l'histoire de la région.

Avec l'essor qu'a connu le marché dit «Souk Libya» dans la plupart des villes tunisiennes, on peut dire que c'est toute l'économie tunisienne et une large frange de la population qui en ont tiré profit, soit en tant que consommateurs des produits importés de la Libye, soit en tant qu'acteurs dans cette nouvelle dynamique.

Cet article met l'accent sur l'importance du secteur informel, son impact, et la symbolique qu'il dégage dans la perspective d'une intégration maghrébine dans le contexte d'une économie qui se mondialise.

Mots clés : commerce ; informel ; Tunisie ; Libye ; frontière ; rural ; Maghreb ; flux ; immigration ; Médenine ; transhumance.

SUMMARY

The opening of the tunisia-libyan frontiers following the formation of the Arab Maghreb Union (17 th February 1989), the south -eastern region of Tunisia become, as a result, a privileged area of a historical socio-economic dynamic.

With the rapid expansion of the market, called «Souk Libya», found in the majority of the tunisian towns, we can state that the tunisian economy and a large portion of the population take advantages as consumers of imported goods from Libya or as actors in this new dynamic.

This article is focusing on the importance of the informal sector, its impact and its positive tendency on the prospects of the Maghreb integration in the context of an open market economy.

I- INTRODUCTION

Le long de son histoire, la population du sud-est tunisien a été fortement marquée par la mobilité de ses hommes et la fragilité de ses ressources face aux aléas de la nature contraignante des régions arides et aux conjonctures politiques qui ont contribué à façonner une typologie du système de production propre à cette population.

En effet, dans son aire post-nomade, la population du sud-est tunisien a emprunté les voies de l'immigration (vers l'Algérie, la Libye et la France) afin de subvenir aux besoins d'une population contrainte à la sédentarisation par la seule volonté politique ; une volonté dépourvue des moyens et des ressources qui peuvent garantir un développement durable d'une région de plus en plus marquée par des frontières de toutes natures.

Au nomade d'hier qui conduisait son troupeau (capital) jusqu'aux confins de la FRIGUA (la vallée du fleuve de la Medjerda, au nord du pays) à la recherche des terres fertiles (« région économique » mais qui n'est pas sous sa souveraineté) succède le « nouveau nomade » qui exporte avec sa force de travail ou son savoir faire (capital) vers l'Algérie, la France ou la Libye à la recherche de nouvelles ressources (dans ce cas sa « région économique » est extra-nationale), dès alors, on parle d'immigration « provisoire » (la permanence du provisoire¹, saisonnière^a) ou pendulaire^b, ces dernières nous rappellent en quelque sorte la transhumance du nomade d'hier.

¹ Laroussi K. « citoyenneté économique - citoyenneté politique. Les commerçants et artisans maghrébins en France ». mémoire DEA, EHESS, 1990.

^a) Le cas des Ghomrassain, pâtisseries travaillant 6 mois en Algérie ou en France et 6 mois au pays.

^b) Le cas des commerçants informels faisant la navette entre la Libye et la Tunisie avec une fréquence de voyages très importante.

II- Le commerce informel

Suite à l'ouverture des frontières tuniso-libyennes en 1988 (accord du 15/02/1988), la région du sud-est tunisien (et plus précisément la ville de Benguerdane) est devenue le lieu privilégié d'une dynamique socio-économique sans égale dans l'histoire de la région longtemps dominée par le circuit de la contre bande et des flux de migration clandestine vers la Libye, la ville de Benguerdane a bénéficié des nouveaux accords entre les deux Etats, portant sur la circulation des biens et des personnes.

Avec l'essor qu'a connu le marché «Souk Libya» dans presque toutes les villes de la Tunisie, on peut dire que c'est toute l'économie tunisienne et les couches sociales les plus défavorisées (ou marginalisées) qui en ont tiré les bénéfices, que ce soit en tant que consommateurs de produits importés de la Libye ou bien en tant qu'acteurs dans cette nouvelle dynamique en étant commerçants (ou«Nassaba»), transporteur, cambistes («Sarrafa» et propriétaire du capital)...

1- Méthodologie

Lorsqu'on entreprend une investigation de recherche concernant le secteur informel, les sciences sociales, butent au difficile choix de la méthode.

Face à ce nouveau phénomène, elles n'ont pas encore opté pour une méthode précise, vu l'accès délicat à l'information par les voies traditionnelles. Pour les besoins de l'étude on a essayé de diversifier les sources d'informations en s'appuyant sur :

- Les récits biographiques des acteurs concernés.
- La collecte des données disponibles chez les institutions ou administrations nationales qui s'intéressent directement ou indirectement à ce sujet exemple les CRDA régionaux, les UTICA régionaux, les O.C.T régionaux, les postes de Douane, Institut National de la Statistique, Ministère des Finances, Ministère de l'Agriculture, etc. ...
- Les enquêtes par questionnaire effectuées, sur le poste frontalier de Ras J'dir, sur un échantillon de 500 passagers-commerçants tunisiens dans le sens Libye-Tunisie .

2- Apparition du marché de change parallèle et du marché informel «Souk Libya»

La dynamique du commerce informel a été soutenue, entre autres, par l'essor qu'a connu le système de change parallèle au système de change bancaire. Ce phénomène a été réprimé au début de son apparition, puis toléré ensuite. Il obéit plus ou moins aux règles du marché financier ; ainsi le cours de la monnaie obéit aux lois de l'offre et de la demande qui régissent le marché des échanges commerciaux «réels» (c'est à dire y compris les échanges traités via le commerce informel de part et d'autre), en conséquence le taux de change est fixé par rapport au prix réel de la monnaie.

Ce marché de change s'est construit autour de deux principaux acteurs, les cambistes et les clients. Les cambistes regroupent le propriétaire du capital «Knetri» et les agents de change en contact direct avec les clients «sarrafas», les premiers tiennent à garder l'anonymat, alors que les «sarrafas» sont disposés en grappes le long du principal axe routier Medenine - Ras J'dir et sont en contact direct avec les clients.

Les clients sont les voyageurs et commerçants maghrébins (surtout Libyens et Tunisiens) et peuvent être fournis en devises maghrébines ou internationales (Dollars, Francs français, D. mark, ...).

La dépréciation du Dinar libyen par rapport au Dinar tunisien dans le taux de change fixé par le marché parallèle^(*) a favorisé l'importation des biens de consommation en provenance de la Libye.

Ces «sarrafas» (banquiers de change) installés aux abords de la route nationale principale (GP 1), pratiquement de oued Zess jusqu'à Ras J'dir, côté tunisien, (relayés ensuite par d'autres, côté libyen), pratiquent tous le même taux de change pour l'achat et la vente de la monnaie.

Le traçage de la courbe de fluctuations du Dinar tunisien par rapport au Dinar libyen pendant la période 88-93 nous renseigne sur le degré de rationalité et de maturité que ce marché a acquis au fil des années. Ainsi, suite à l'embargo aérien et militaire décrété par l'ONU contre la Libye (au mois de février 1992), le Dinar libyen a subi une dévaluation de 10,75 % sur le marché de change informel, cotant chez les «sarrafas» 0,830 (D.T) à l'achat et 0,840 (D.T) à la vente, alors qu'il cotait 0,930 (D.T) quelques jours avant l'entrée en vigueur de l'embargo (le 15 avril 1992) jour où le Dinar libyen a coté 0,780 (D.T) (voir le tableau n° 1 et la courbe de fluctuation).

A signaler aussi l'importance du capital cumulé au fil des années par le circuit de la contre bande (communément appelée « kountra »).

La dépréciation du Dinar libyen vis-à-vis du Dinar tunisien s'est traduite finalement par l'installation de nouveaux marchés de biens appelés «Souk Libya» où on expose, dans des «Echoppes» montées à la hâte une palette de produits de consommation importés de la Libye (allant de la banane du Honduras au thon de Thaïlande, au service

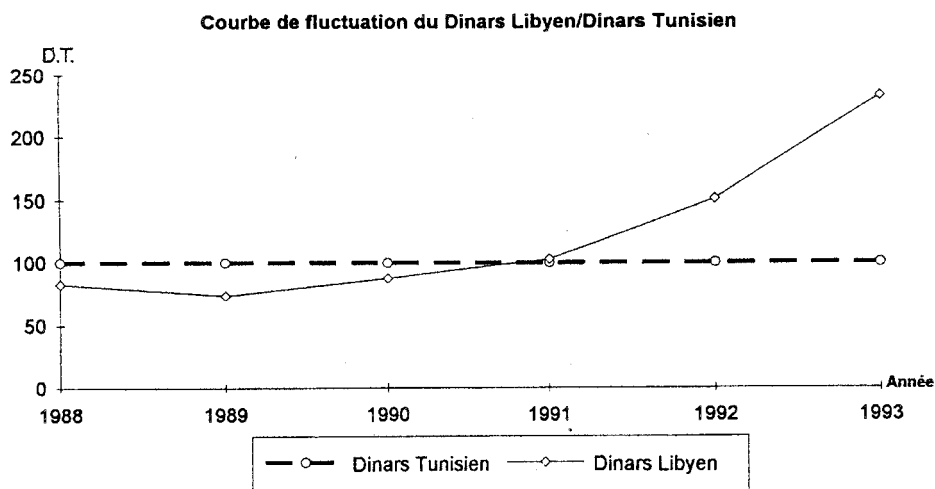
^(*) le dinars libyen est changé au 1/6 de la valeur cotée par la banque centrale de Tunisie.

de table Egyptien, à l'éctro-ménager chinois et autres ...). Dans la délégation de Medenine, par exemple, on compte près de 162 commerces de ce type (communément appelés «Nassba», et le commerçant «nassab») dont le capital de quelques uns dépasse les 15 000 D.T.

Concernant l'échantillon étudié la valeur de la marchandise importée a dépassé les 200 milles Dinars tunisien, soit une moyenne de 400 DT par personne pour un passage ; l'enquête Ras J'dir, révèle^(**) que 49,15 % du capital marchand est destiné à l'achat des produits agricoles, le reste est destiné à l'achat des produits ménagers à l'habillement et aux produits électroménagers de marques asiatiques...

Tableau n°1 : Taux de change du dinars Libyen par rapport au Dinars Tunisien (Unité : 100 DT)

Année	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Unité : 100 D.T	83 D.L	74	88	103	151	233



III- Le nomadisme moderne et le concept de région économique:

1- Introduction :

Le nomadisme dans ses formes originelles s'est construit en tant que système de production pastoral caractérisé par la pratique de la transhumance (entre autres pratiques culturelles).

Son système de reproduction social qui a évolué pendant des siècles dans les régions arides tunisiennes a été maintenu grâce au concours de deux principaux facteurs :

- la nature collective de l'appropriation des terres de parcours ;
- les alliances inter-tribales qui garantissaient la sécurité des biens et des personnes et une forme de gestion du terroir (accès aux ressources naturelles, répartition des tâches, circuits de commercialisation des produits agricoles et d'élevages ...) par le biais du droit coutumier.

Avec l'avènement du colonialisme français, le champs d'évolution naturel de ce système a été altéré par la refonte des frontières sur des bases politico-administratives et socioculturelles.

Auparavant la notion même de frontières revêtait un caractère d'ordre naturel plutôt que politico-administratif ou socioculturel.

Jusqu'au début du 20^e siècle, la transhumance se pratiquait sur un territoire qui s'étendait de la Jeffara et du Dhahar (sud tunisien) jusqu'à la « FRIGUA » : moyenne et basse vallée du fleuve de la Medjerda (nord-ouest de la Tunisie), surtout dans les années des disettes.

Dans ces conditions, la « région économique » du pasteur nomade signifiait le territoire naturel lequel il exerçait son mode de production et qui dépasse son propre domaine de souveraineté et pour emprunter un concept moderne, lié à la création de l'Etat-Nation, on dira que la « région économique » pour le pasteur nomade ne correspondait pas nécessairement à sa région « nationale » (par nationale on entend le « Maoutane » ou son territoire tribale ou natale).

^(**) Laroussi K. « Impact du commerce informel sur le milieu rural en Tunisie ». Revue des Régions Arides n°9 (1/96) Médenine.

Suite à la déstructuration-restructuration de ce système de production, dû notamment au fait colonial qui a imposé à ces populations un début de sédentarisation forcée par le biais d'un découpage politico-administratif et une redistribution des terres entre les tribus ainsi que des rôles des différents intermédiaires et intervenants, des frontières de nature politiques et sociales ont commencé à émerger et à créer des situations conflictuelles.

Dans le sillage de ce processus historique, le jeune Etat tunisien, a poursuivie une politique de développement visant la sédentarisation de ces populations dites « marginales » sur un territoire de plus en plus maîtrisé et réglementé.

Ainsi les parcours collectifs qui couvraient au début du 20^e siècle une superficie de 3 millions d'hectares, représentent aujourd'hui moins que la moitié, du fait que 1730 000 ha ont été affectés au régime de la propriété privée et le régime des forêts (étatique).

Ces anciens pasteurs nomades étaient contraints à se convertir vers d'autres activités, si non à diversifier leurs ressources de revenue, associant l'élevage à l'arboriculture et la céréaliculture.

Une partie de cette population s'est mutée vers des activités extra-agricoles (commerce, artisanat, immigration) et parmi eux les commerçants informels qui représentent le cas le plus pertinent qui renferme en lui même en tant que phénomène social le concept du « nomadisme moderne » en tant que stratégie d'adaptation aux nouvelles réalités physiques et socio-politiques présentes.

D'où l'intérêt qu'en porte au phénomène de l'immigration pendulaire des tunisiens travaillant dans le commerce informel de part et d'autres des frontières tuniso-libyenne.

2- L'immigration pendulaire ou la transhumance moderne

D'après les données de l'enquête RAS J'DIR, le commerce informel concerne une classe d'âge relativement jeune (33 ans en moyenne) voir tableau n°2.

Tableau n°2 : Moyenne d'âge par catégorie

Catégorie	Moyenne d'âge
Agriculteurs	42
Ouvriers agricoles	32
Ouvriers journaliers	32
Artisans	32
Commerçants	34
Fonctionnaires	38
Elèves	20
Total	33

Source : enquête Ras J'dir (1992)

Les principales catégories socioprofessionnelles qui sont mutées vers cette nouvelle activité sont les agriculteurs, les ouvriers agricoles et les ouvriers journaliers et qui forment 68% de la population concernée.

Cette population issue du milieu rural est marquée par une mobilité qui dépasse la moyenne de l'échantillon.

En effet, si la fréquence de voyages pour la Libye de l'effectif total est de 88 fois par an en moyenne, la moyenne qui concerne la population rural est de 91 fois par an et par personne.

Tableau 3 : Fréquence de voyages pour la Libye par personne et par an (population d'origine rurale)

Catégorie	Moyenne de voyage	Moyenne générale
Agriculteurs	65,32	90,81 soit 91 fois/an
Ouvriers agricoles	115,34	
Ouvriers journaliers	91,79	

La mobilité de cette population d'origine rurale traduit les stratégies d'adaptation face aux aléas économiques et naturels des régions arides tunisiennes et au delà des motivations qui provoquent cette mobilité, elle retrace le comportement du pasteur nomade qui a longtemps imprégné la culture locale.

Néanmoins cette mobilité ne touche que le chef de la famille ; sa famille reste sur son lieu de résidence.

La catégorie des ouvriers agricoles est la population la plus mobile avec une moyenne de 115 voyages par personne et par an.

La majorité des ouvriers agricoles et journaliers forment le groupe le plus « instable » socialement, à savoir que leurs lieux de travail ne correspondent pas à leurs lieux de résidence à l'inverse des commerçants ou des artisans travaillant dans ce secteur (comme l'indique les graphiques n°1 et n°2, par les ensemble (A) et (B)).

Ce groupe représente 44,2 % du total de l'échantillon soit 221 personnes qui sont originaires d'une région qu'ils quittent pour aller s'approvisionner en Libye et vendre ensuite leurs produits dans une autre région de la Tunisie.

Cette nouvelle forme de migration symbolise la crise-mutation dans les régions rurales qui sont attirés par les nouvelles « régions économiques » (exp : l'axe Libye-Benguerdane) représentées dans le graphique n°1 par l'ensemble (A).

Elle est à l'image de la transhumance saisonnière du pasteur-nomade en quête des régions fertiles pour son troupeau, dans notre cas il s'agit de la transhumance d'un petit capital marchand entre la région de résidence du commerçant et la région économique comme l'illustre le schéma n°1 :

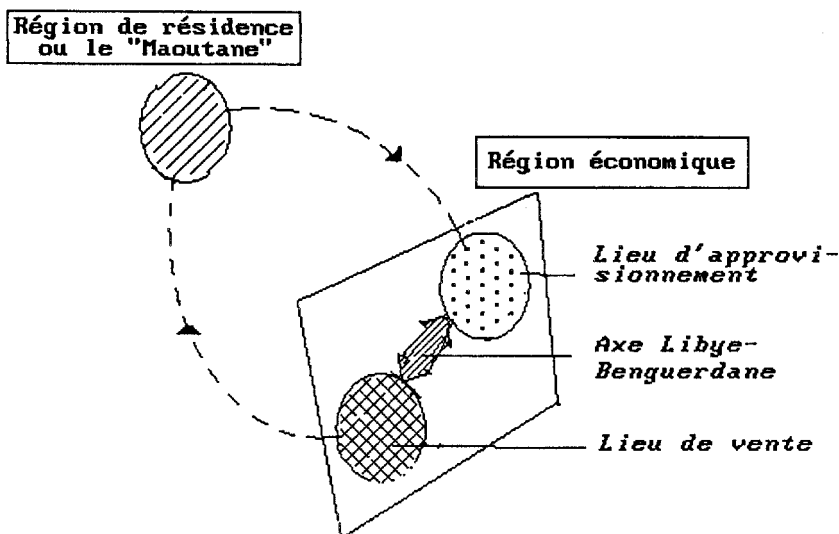


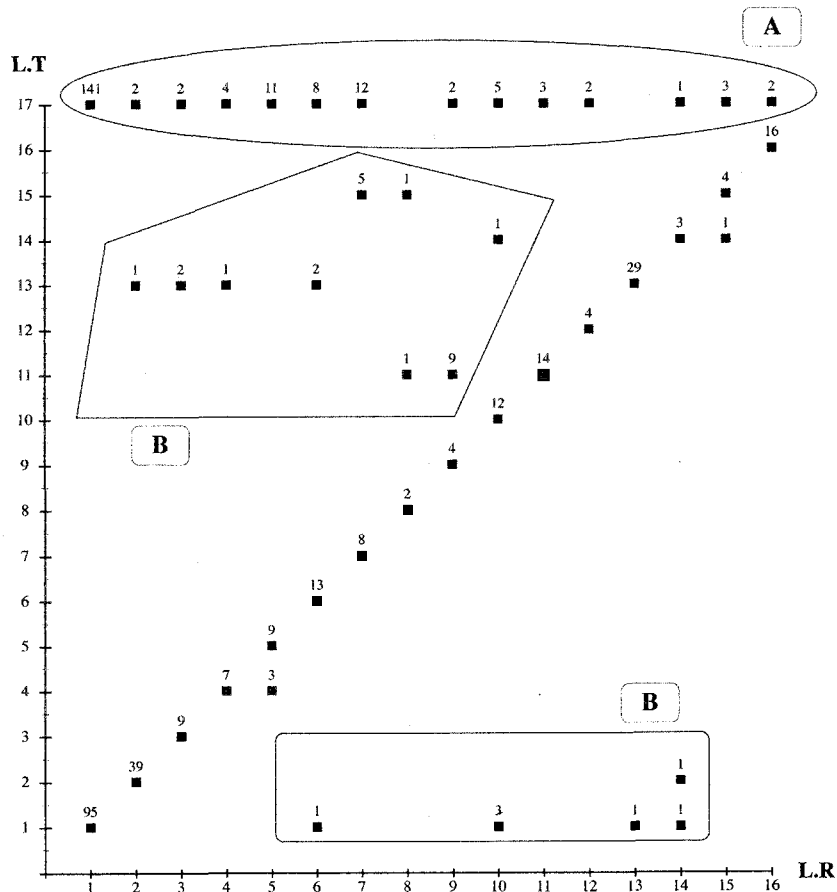
Tableau °4 : Lieu de résidence/lieu de travail

Lieu de résidence Lieu de travail	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
1	95					1				3			1	1			101
2		39												1			40
3			9														9
4				7	3												10
5					9												9
6						13											13
7							8										8
8								2									2
9									4								4
10										12							12
11							1	9			14						24
12												4					4
13		1	2	1		2							29				35
14										1				3	1		5
15							5	1							4		10
16																16	16
17	141	2	2	4	11	8	12		2	5	3	2		1	3	2	198
Total	236	42	13	12	23	24	25	4	15	21	17	6	30	6	8	18	500

Légende :

1 : Benguerdane	2 : Médenine	3 : Tataouine	4 : Gabès	5 : El Hamma	6 : Sidi Bouzid
7 : Bir Ali B. Khlifa	8 : Chrarda	9 : Bouhejla	10 : Mehdia	11 : Kairouan	
12 : Gafsa	13 : Libye	14 : Tunis	15 : Sfax	16 : Autres	
17 : Axe Libye-Benguerdane					

Graphique N°1
Lieu de travail (L.T) / Lieu de résidence (L.R)



3- « La région économique »

L'immigration pendulaire a créé des régions économiques qui dépendent d'une conjoncture géopolitique et économique à la fois régionale et internationale plutôt que d'une stricte réalité territoriale qui dépend de la seule autorité étatique souveraine.

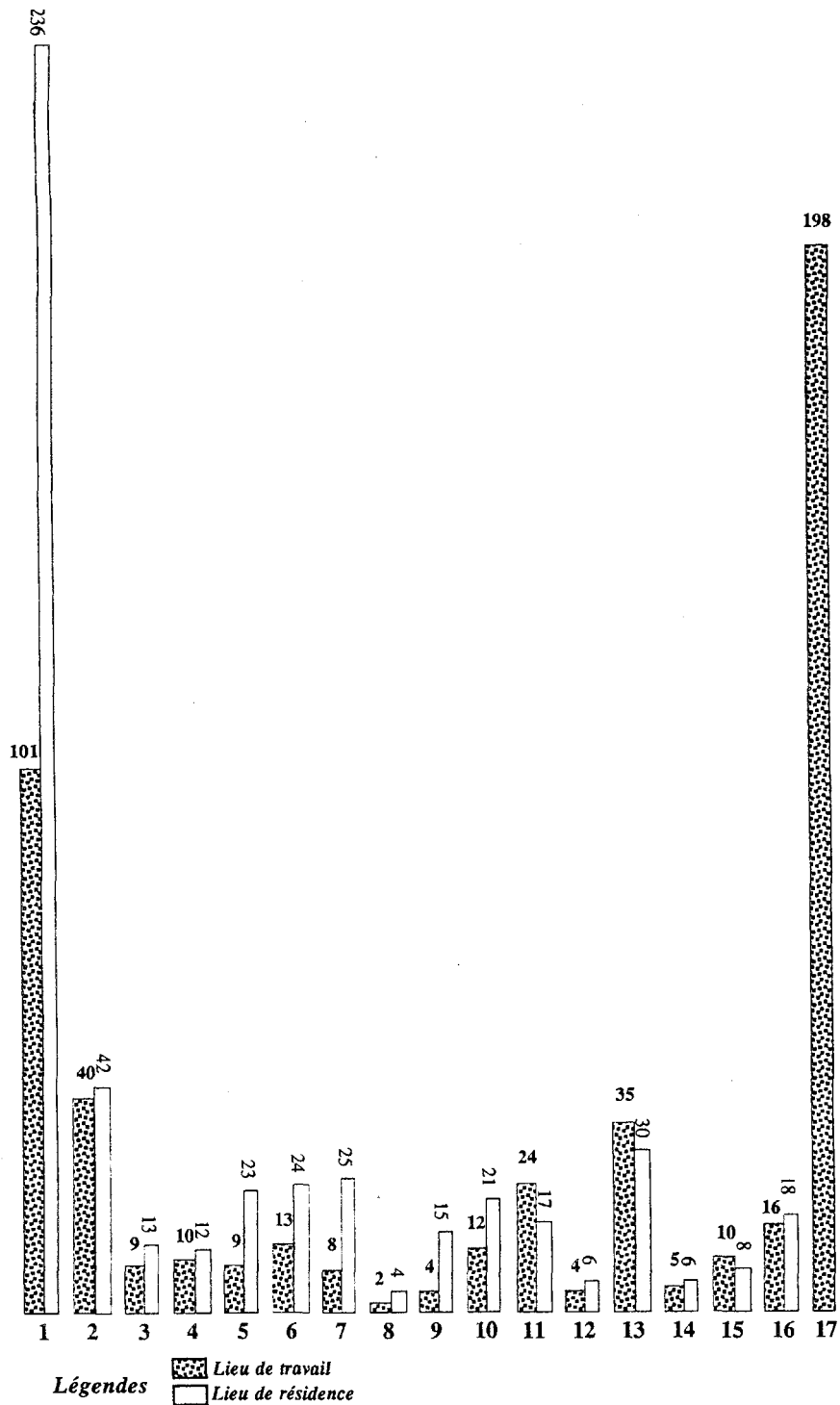
Ainsi le secteur informel comme paradoxe née dans le sillage du système économique international en pleine crise-mutation (apparition des nouveaux pôles économiques en Asie du sud-est) a provoqué l'apparition de ces marchés parallèles, à l'image du capital multinational qui a créé sous l'égide des grandes puissances géopolitiques ses propres régions économiques dites « zones franches ».

Pour les deux cas ces « régions économiques » sont le résultat d'un consensus qui se réalise entre l'Etat souverain et le système économique mondial et ses paradoxes (soit officiellement, soit officieusement).

La « région économique » se définit en tant qu'un lieu géographique dans lequel s'effectue une dynamique ou un système de production économique et dont ses mécanismes de reproduction internes dépassent les seules conditions nationales exclusives.

Elle est dotée d'une organisation et une juridiction économique particulière.

Les principaux acteurs qui occupent cet espace, dans notre cas d'étude, sont les «Sarrafas» (ou l'agent de change informel), les transporteurs routiers et les «Nassabas»(les vendeurs) qu'on retrouve dans les marchés informels dits «Souk Libya».



La ville de Benguerdane avec ses grands «marchés libyens» devient de plus en plus le pôle privilégié de ce trafic comme le démontre la carte des régions de polarisation du commerce informel (voir carte n°1 et le tableau n°5) .

Ainsi 58,8 % de ces passagers-commerçants issus des régions différentes vendent leurs marchandises à Benguerdane (voir tableau n°5) ; 40 % du total des passagers sont des commerçants permanents qui travaillent sur l'axe Libye-Benguerdane, les voitures commerciales ou de tourisme de marque 404 peugeot constituent leurs moyens de transport privilégié. Ainsi, on peut parler d'une autre forme de migration qui s'élabore dans un espace souvent marqué par le phénomène de l'exode rural ou l'immigration internationale.

Cette nouvelle forme de migration ou de transhumance est un phénomène né de l'héritage direct des anciennes pratiques culturelles qui ont façonné l'histoire de la région, et qui se sont rabattues dans la sphère culturelle (dite «tradition locale») après la restructuration des anciennes sociétés pastorales.

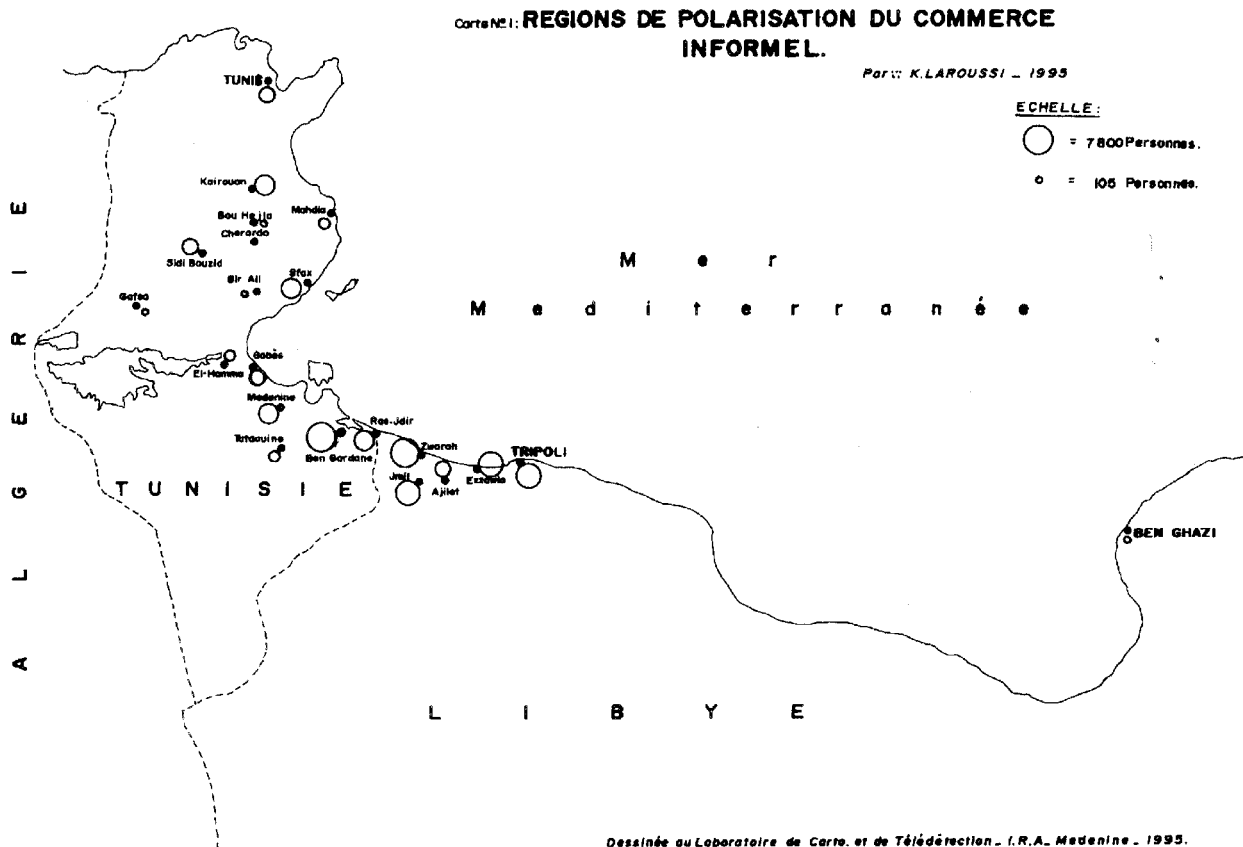
L'apparition de cette nouvelle transhumance n'est donc pas un phénomène hasardeux, elle est plutôt le résultat d'une prédisposition culturelle et la réanimation d'une pratique ancienne. Cette réanimation s'effectue par le biais des conjonctures économiques et politiques dont la dernière fût la construction du grand Maghreb et la relance des échanges commerciaux intra-maghrébins.

Tableau n°5 : Lieu d'approvisionnement (L.A)/lieu de vente (L.V)

L.A L.V	Zouara	Tripoli	J'mil	Benghazi	Zaouya	Al Ajilat	Ras J'dir	Total	%
1	207	19	35	-	9	3	21	294	58,8
2	14	5	7	-	8	4	5	43	8,6
3	3	-	2	-	3	1	-	9	1,8
4	1	4	1	-	1	-	-	5	1
5	2	1	1	-	1	-	-	5	1
6	6	3	-	-	5	1	-	15	3
7	4	-	-	-	-	-	-	4	0,8
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	1	-	-	-	-	1	0,2
10	4	-	-	-	2	-	-	6	1,2
11	9	4	9	-	7	1	-	30	6
12	-	1	1	-	1	1	-	4	0,8
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	4	5	-	1	2	-	-	12	2,4
15	6	12	3	1	6	-	-	28	5,6
16	6	18	-	-	11	1	-	36	7,2
Total	266	72	60	2	60	12	28	500	100
%	53,2	14,4	12	0,4	12	2,4	5,6	100	

Légende :

1 : Benguerdane 2 : Médenine 3 : Tataouine 4 : Gabès 5 : El Hamma 6 : Sidi Bouzid
7 : Bir Ali B. Khlifa 8 : Chrarda 9 : Bouhejla 10 : Mehdia 11 : Kairouan
12 : Gafsa 13 : Libye 14 : Tunis 15 : Sfax 16 : Autres
17 : Axe Libye-Benguerdane



4- Conclusion

A travers l'étude du phénomène du commerce informel entamée dans la région du sud-est tunisien et des différents épiphénomènes qu'il a engendré et de la tentative typologique faite par rapport au système de production pastoral, on s'aperçoit très vite que la notion de frontière est une constante dont on ne peut l'évacuer de notre problématique centrale ou par défaut de sa discussion ...

Ainsi lorsqu'on parle de migration, de transhumance, de «région économique», de «zone franche», d'économie, de culture, de couche sociale, de régimes fonciers, de régimes socio-politiques qui ont marqué l'histoire de la région, on parle implicitement de la notion de frontière.

Les différentes notions qu'on peut affecter au concept de frontière dépendent des niveaux d'approches qu'on opte dans notre démarche.

La richesse de cette notion témoigne de sa vivacité et de son ancrage profond dans l'histoire de l'homme.

Le caractère relatif et la désacralisation de cette notion par le concept de « l'Ouma » et ses fondements constitutifs qui transgressent la notion de frontière à plusieurs niveaux, ont conféré un caractère éphémère à celui-ci, et antinomique par rapport à la notion de « Ouma ».

Ainsi, elle paraît renfermer un passé-présent en perpétuelle évolution ...

Ce passé-présent qu'on retrouve dans le comportement du commerçant informel et dans ses aptitudes à s'accaparer de la dynamique du commerce transfrontalier, en se ressourçant de la culture nomade et du modèle de vie qu'elle reproduit.

Le long de son histoire, la région du sud-est tunisien fût le théâtre de nombreux déploiements et replis incessants de schémas de répartitions et de délimitations territoriales sous le règne des autorités beylicales, des confédérations tribales, ou du régime militaire français ...

Ainsi, cette région qui était et reste un carrefour d'échanges, reliant l'Orient au Maghreb, était souvent sous l'emprise des marquages frontaliers qui constituaient paradoxalement une ressource de revenu auxiliaire pour les habitants des régions frontalières, à travers le commerce officiel, informel, ou la contrebande.

En outre, les régions frontalières, représentent un observatoire privilégié de la dynamique sociale et économique qui s'y opèrent en rapport avec les récents engagements des Etats maghrébins en vue de la construction du Grand Maghreb Arabe.

Désormais, c'est dans ce minuscule espace où on pourra mesurer la distance qui sépare le Maghreb vécu du Maghreb voulu, et c'est en ce moment qu'on peut opposer le processus politique au processus historique.

L'OASIS D'IN BELBEL EN PLEINE MUTATION

Iwao KOBORI* et Abdrrahmane BENKHALIFA**

* U.N. University, Shibuya-Ku 150, Japon

** U.R.Z.A BP 44 Alger-Gare 16000 Algérie

RESUME

L'oasis d'In Belbel, située au piedmont sud du plateau du Tadmait au centre du Sahara algérien, est observée régulièrement par le professeur I. Kobori et ce depuis le début des années 60. Dans le but d'élargir le champ d'observation, nous sommes intégrés à son équipe depuis 1992-1993. Voici nos impressions à la suite d'une visite sur le terrain et un suivi de l'évolution de cette oasis durant ces trois dernières années.

In Belbel n'était dans le passé qu'un point d'eau et un pied à terre pour les caravanes et les nomades qui transitent entre le Touat-Gourara-Tidikelt. Malgré son éloignement, In Belbel est démographique, à peine 350 personnes à la fin des années 70, la population atteint les mille habitants. Ce qui avait imposé l'installation d'un réservoir d'eau, une école, une infirmerie et à additionner un soutien à l'auto-construction des maisons existantes sont actuellement en cours de renouvellement. Cependant, le projet d'une route goudronnée, coûteux, reste difficile à réaliser.

Bien que les habitants d'In Belbel soient très attachés à leur village, l'apport de l'énergie solaire pour éclairer les maisons était l'un des principaux facteurs qui a permis la fixation des gens sur place. Suite à ce projet expérimental. In Belbel a constitué un point focal pour le faire visiter par les gestionnaires administratifs, les agents de développements et les équipes de recherche. Ainsi à la fin des années 1980, une autre station solaire est installée à Matrioune, unique village voisin. Pour ces deux villages, l'extension des installations solaires n'étant pas prévue, il est devenu impératif et malgré les coûts de l'investissement d'introduire l'énergie électrique. C'est ainsi qu'une centrale électrique est en cours de réalisation.

Par ailleurs, le réservoir d'eau avait nécessité la réalisation d'un forage profond. Son équipement et la charge financière de sa consommation étaient subventionnés. Avec les besoins en eau et qui sont en augmentation permanente, un nouveau forage a été réalisé et la mise en place d'un nouveau château d'eau est prononcée. Ces nouvelles installations changeront certainement les mentalités et permettront la pratique de nouvelles habitudes. Quant à leur gestion, un bon nombre de problèmes surgirait si on n'assure par les subventions nécessaires pour couvrir le consommable (carburant) et l'entretien des équipements.

Jusqu'à maintenant, l'oasis n'était pas ciblée directement par les actions de développement subventionné, mais elle subit les conséquences de celles-ci. L'ancienne foggara qui constituait le seul point d'eau pour couvrir les besoins (population, irrigation des jardins) avait diminué dans un débit. Ce qui avait poussé les habitants à creuser de puits individuels et installer de nouveaux jardins. Dépendre des motopompes non existantes et non réparées dans la région d'une part, et uniquement de l'inferox-flux des alluvions d'un oued rarement en crue, d'autre part, les gens se sont cassés les bras pour résister, mais sans veine le système de petits puits était tellement fragile et individualiste qu'il a été rapidement abandonné. Une nouvelle foggara a été creusée par la population elle-même. Comme partout dans la région, l'entretien était parfois encouragé par une subvention limitée. Cette action avait réussi non seulement à entretenir l'ancienne palmeraie, mais aussi à récupérer tous les palmiers des jardins abandonnés et à les mettre sur une nouvelle surface. Ainsi, une nouvelle palmeraie a été installée. Celle-ci est actuellement en extension grâce à l'excès d'eau du nouveau forage qui est utilisé pour renforcer l'irrigation des cultures. L'oasis d'In Belbel, quoi qu'elle soit petite en surface, est un modèle de toutes les oasis à foggara dans les régions Touat Gourara-Tidikelt. On y trouve une trentaine de variétés de dattes et on pratique sous les palmiers plusieurs cultures (blé, orge, tomate, oignon) sans aucun appui, le système de production de ces petites exploitations familiales, étant très limité, reste difficile à entretenir et il y a urgence pour le sauvegarder et étudier les possibilités de sa renaissance.

L'utilisation des eaux du forage pour l'irrigation fragilisera probablement l'entretien de la foggara, alors que se passera-t-il avec l'augmentation des prix de la consommation électrique et la non prise en charge de factures par l'administration ?

1- INTRODUCTION

Depuis la II^{ème} guerre mondiale les scientifiques japonais se sont, progressivement, impliqués dans les études des régions arides. L'association japonaise pour l'étude sur les régions arides (JAALS), créée en 1990, compte aujourd'hui 500 membres. Les chercheurs japonais ont d'abord exploré les zones arides essentiellement en Chine à cause des facilités d'accès et pour des raisons relationnelles. Cependant, après la rencontre de Rio (1992), le gouvernement japonais est devenu l'un des membres actifs de la Convention de Lutte contre la Désertification. sous ces conditions, il est devenu important de s'impliquer dans divers travaux menés sur les zones arides à travers le monde. Ces recherches dépendent de l'initiative des chercheurs eux-mêmes ou des intérêts des institutions que par les fonds de l'ODA ou des fondations privées.

Au Maghreb ou en Afrique du Nord, on peut citer l'exemple de la coopération concernant l'installation des infrastructures pour l'alimentation en eau potable et le traitement des eaux en Egypte, Tunisie et au Maroc. Les investigations cadastrales pour la cartographie et l'installation des équipements de télécommunication ont été achevées en Algérie et en Libye. En parallèle, la coopération en matière de bâtiment et de construction en Moyen Orient et en Afrique du Nord est un autre exemple. En plus au financement des projets en relation avec CGIAR, ICRISAT, ICARDA ou CYMMIT, il y existe d'autres projets bi ou multilatéraux pour le développement de l'agriculture. Pour exemple, on cite la réussite de l'expérimentation des polymères, comme matériaux d'amélioration des rendements de cultures, menée en collaboration avec l'Agricultural Research Center en Egypte.

Bien que l'agriculture japonaise soit développée essentiellement en « paddy fields » e qu'il y a peu d'expérience en culture « upland », l'introduction de la biotechnologie et l'amélioration génétique, devait être disséminée graduellement à travers les recherches sur le riz. Les nouvelles technologies comme l'utilisation des photos satellites et les équipements des S.I.G sont disponibles pour des propos de coopération. National Space Development Agency (NASDA) a lancé récemment deux satellites avec radars qui donnent des images très claires sur les régions arides et qui sont disponibles pour être testées et utilisées dans les pays concernés à travers les voies officielles.

Il est difficile de citer tous les domaines de coopération en connexion avec les régions arides et semi-arides, mis on peut rajouter un ou deux autres exemples : JALDA (Japonaise Agriculture Development Agency) a été engagée dans un projet pilote de lutte contre la désertification au Niger . Après cinq années de recherches globales, ils étudient actuellement le maintien de nouveaux villages au bord du fleuve Niger en utilisant les technologies comme alternative. Par ailleurs, des ONG qui travaillent au Tchad, Mali et au Sénégal dans le domaine de l'afforestation.

Dans ces circonstances, des recherches sur les oasis dans les régions arides et semi-arides ont été menées depuis 1956. L'intérêt a porté essentiellement sur les systèmes d'irrigation appelés (Knat, foggara ou Karez). A partir de 1961 l'engagement avait porté sur des études comparatives entre les oasis à foggara (1977-1980 Université de Tokyo ; 1987-1990, Université Meiji (Kobori, 1982) qui ont impliqué l'Algérie, Maroc, Syrie, Chine, Iran et la péninsule arabe. En 1993 un nouveau projet a été élaboré (Fondation Toyota) ayant pour objectif le suivi de l'évolution des oasis suite à l'introduction des technologies. La communication suivante résume les travaux d'observatoires sur l'oasis d'In-Belbel au Sahara algérien et qui sont menés avec la collaboration de l'Unité de Recherches sur les Zones Arides (URZA) et la population locale du Tidikelt en Algérie (Benkhalifa, 1993).

2- Situation géographique et organisation de l'oasis

In Belbel est un petit village situé au versant-sud du plateau du Tademait au centre du Sahara en Algérie. Il est très isolé à cause de son éloignement des axes routiers développés dans la région et qui relient les oasis du Gourara-Touat-Tidikelt. Dans le passé, In Belbel était un point d'eau et un donc un pied à terre pour les caravanes et les nomades transitant entre le Touat-Gourara-Tidikelt ou venant d'El-Goléa. Aujourd'hui, on accède à In Belbel par deux pistes essentielles ; la première piste, de 140 km environ, arrive d'Aoulef, la deuxième mène vers Aougrout au Gourara. Il existe une troisième piste, qui relie In Belbel au Touat, ayant plusieurs destinées vers les villages et les palmeraies de l'axe routier Adrar-Reggane. Malgré son éloignement, In Belbel est devenue aujourd'hui un petit village en pleine mutation. D'abord à cause de son explosion démographique ; 50 habitants au début du siècle (Voinot, 1909) et à peine 350 personnes à la fin des années 70, la population atteint aujourd'hui les milles habitants. Ce qui avait demandé l'installation d'une école, une infirmerie, un réservoir d'eau, et à additionner le soutien à l'auto-construction des maisons. Le ksar des années 60 avait été abandonné, les constructions des années 70, construites avec les matériaux locaux (argile) ont été aussi abandonnées et de même, avec l'arrivée de nouveaux matériaux de construction (briques en ciment et béton), les habitations existantes sont actuellement en cours de renouvellement. Il existe, à quatre ou cinq kilomètres environ, un seul village voisin ; Matrioune dont la population est moins importante. Après le nouveau découpage administratif, les deux villages

voisins ont été rattachés à la commune d'Inner (Timokten), daira d'Aoulef, wilaya d'Adrar. A la fin des années 1980, les deux villages ont été équipés chacun d'une station d'énergie solaire pour l'éclairage des maisons. L'extension des installations solaires n'étant pas prévue, il est devenu impératif et malgré le coût de l'investissement d'introduire l'énergie électrique. Ainsi une centrale électrique est en cours de réalisation. Les services administratifs de la commune ont investi pour l'étude d'une route goudronnée, mais le coût de l'investissement limite sa réalisation.

La palmeraie d'In Belbel constitue l'unique tâche verte auprès du village. Elle est composée de deux parties ; la première est une vieille palmeraie dont la superficie est estimée à cinq ou six hectares au maximum. Cette palmeraie est irriguée par une ancienne foggara qui servait, d'abord, comme point d'eau essentiellement pour les habitants du village et les nomades de passage. La deuxième partie, est une nouvelle plantation créée à la fin des années 1980 suite à la réalisation d'une nouvelle foggara, d'un débit évalué à 9 « haba » (cette mesure locale est l'équivalent de 72 litres par minute). L'eau de la nouvelle foggara est utilisée pour irriguer, à la fois l'ancienne palmeraie et la nouvelle plantation. Depuis la fin des années 1980 le village d'In Belbel est doté d'un forage d'eau de 140m de profondeur. Le pompage d'eau est effectué à l'aide d'un groupe électrogène. L'eau est stockée dans un réservoir pour assurer l'alimentation en eau potable. Récemment, un nouveau forage profond a été réalisé. Il donne un débit de 22 l/s et son eau sert pour couvrir les besoins du village. Le surplus est utilisé pour renforcer l'irrigation de la palmeraie, ce qui a permis son extension. Lors de notre passage en janvier 1993 nous avons mesuré, à l'aide d'un conductimètre portatif (Horiba), la conductivité électrique de l'eau. Celle-ci titrait 3.0 mS/cm² pour l'eau de la foggara et 0.8mS/cm² pour l'eau du robinet (forage).

3- Le système d'irrigation et les cultures

A In Belbel, comme partout au Sahara et en particulier au Tidikelt, les vents sont fréquents et très agressifs. Le climat qui règne est l'un des plus arides au monde. Aucune culture ne pourrait réussir sans apport d'eau (10 mm de pluies en moyenne et des années peuvent se succéder sans aucune goutte). Heureusement pour sa situation au pied du plateau du Tademait, ou à cause de son altitude, des orages peuvent éclater et donnent lieu aux ruissellements des eaux du plateau rocaillieux dans l'Oued d'In Belbel. Cet oued est en crue une ou deux fois tous les cinq ans. Les terres occupées par les jardins sont de nature sablonneuse à cause de leur situation sur le bord d'un oued rarement en écoulement et soumis, fréquemment, à des apports éoliens.

L'eau de la foggara arrive, par gravité, au niveau du sol à proximité des jardins. Elle s'écoule dans un canal couvert de pierres « seguia ». Elle est répartie équitablement, à l'aide d'un peigne en dalle de ciment, dans les petites « seguia » qui la mènent vers les jardins. Il y a un bassin d'argile « Majen » qui sert de réservoir pour récupérer l'infinie quantité d'eau de la « seguia ». Le « majen » est rempli chaque soir et son eau sert pour irriguer, à tour de rôle, les parcelles occupées par des palmiers. Le volume d'eau d'un majen est épuisé après un quart d'heure au plus. Souvent un deuxième tour d'eau moins important se fait l'après-midi. Le volume d'eau ainsi récupéré et qui reflète la part d'eau du propriétaire reste le facteur limitant pour l'extension des jardins et des cultures. En général, c'est le même système pratiqué dans toutes les palmeraies anciennes de la région du Touat et la région du Gourara. En hivers, il y a plus d'eau et moins d'évaporation. Les fréquences d'irrigation des palmiers sont moins importantes (jusqu'à un seul tour par semaine). Ainsi, la quantité d'eau permet d'irriguer plus de surface et on parvient à cultiver, sous les palmiers, des céréales (blé et orge) et des légumes. En été, le bassin d'eau (majen) est vidé en moins de temps, l'eau sert pour irriguer essentiellement les palmiers. Les autres cultures sont pratiquées uniquement sur les passages des eaux et en particulier à proximité du bassin d'irrigation.

La culture essentielle pratiquée à In Belbel est le palmier dattier qui est irrigué en hiver et en été. On trouve, en fonction des saisons, une grande variété de cultures associées toujours aux palmiers. Les cultivateurs distinguent quatre races ou cultivars de blé (Belbala, Bahmud, Freiha et Manga) et quatre cultivars d'orge (Ma Zohra, Ras Lmoch, Azrir et Bourab'a, ce dernier cultivar mûrit en janvier/février, après quatre mois de culture). La production de toutes les cultures est consommée sur place. Les rendements ne sont jamais quantifiés, mais sont loin de suffire aux besoins de la population. Les engrais chimiques sont rarement utilisés quant aux pesticides ou herbicides, ils ne sont pas encore connus. Le seul fertilisant reste l'apport de matière organique sous forme de déchets d'animaux domestiques (chèvres, brebis et volailles) ou encore les croûtes de dromadaires. Les palmiers sont plantés dans tous les jardins. Ils ne sont pas très bien alignés et leur densité de plantation est relativement très forte. En général, les palmiers de l'ancienne partie sont vieux. Ceux de la nouvelle plantation sont jeunes et on des palmes plus verdâtres, mais la densité de leur plantation est plus forte. La palmeraie d'In Belbel, comme celle de Matrioune sont indemnes de fusariose du dattier ou « Bayoud ». Cette maladie mortelle se trouve aujourd'hui dans la moitié des oasis du sud-ouest algérien (Brac de la Perrière et Benkhalifa, 1991). Par contre les deux autres fléaux (Boufaroua et Jreb) existent ; le boufaroua, causé par un acarien, se manifeste sur les dattes en modifiant leur aspect et les rend inconsommables. La cochenille blanche est moins importante et se manifeste par des tâches blanches sur les palmes. Aucun traitement n'est utilisé et les techniques de prévention sont inconnues.

par la population. A In Belbel, comme partout en Algérie, le palmier est multiplié par voie végétative en utilisant les rejets qui poussent à la base des troncs. Les propriétaires replantent les rejets des cultivars locaux à partir de leurs propres jardins et introduisent parfois des provenances d'ailleurs (Aoulef et Aougrou). Les palmiers multipliés par rejets gardent les mêmes noms que leurs pieds mères (cultivars d'origine). On laisse aussi les palmiers issus de graines ayant germées accidentellement par çï et par là. Tous les issus de graines portent l'appellation « Alfa » qui signifie graine. Dans un jardin, on replante uniquement des palmiers femelles et on laisse pousser, généralement, un à deux pieds mâles « Dokkars » qui servent pour polliniser manuellement les arbres femelles. Les palmiers mâles ne sont pas distingués par des appellations. Ils sont connus sous 1 terme « Dokkar » qui signifie « mâle ». Lors de notre passage en janvier 1993, nous avons recensé 30 cultivars de dattier. Leurs appellations locales sont les suivantes :

Tinnaser, Hmira, Tgazza, Taqerbuch, Ahartan, Ferrana, Tazerzay, Tinnaqor, Bamekhluf, Lghula, Tin'akchet, Adekli, Dguel Lhejjaj, Khanfret Lehmar, Ben Brya, A'abbed, Dguel Igar'a, Tinhud, Tawragh, Lkhammara, Timjuhar, Tinqasri, Degla Lkahla, Tindukkan, Khunta, Umjlud, Tinbuzira, Lem'adma, 'Adam, Umnaji.

Les deux cultivars Hmira et Tinnaser sont majoritaires, suivi de Tgazza et Taqerbuch. Ces quatre cultivars sont les plus fréquents et se trouvent dans tous les jardins. La dominance du cultivar Hmira rapproche la composition variétale de la palmeraie d'In Belbel à celles de l'Aougrou au Goura plutôt qu'à celle rencontrée à Aoulef où le cultivar dominant est Gazza. Le cultivar Ahartan est le mieux apprécié pour ses dattes excellentes. Ferrana et Bamakhluf donnent les dattes les plus précoces qui sont grappillées dès le mois de juin. Les autres cultivars sont représentées par quelques pieds et n'existent pas dans tous les jardins. Le nombre de palmiers par jardin varie entre trente et cinquante. A titre de comparaison ce nombre est inférieur à celui dénombré à Matrioune (50 à 90) ou à Aoulef (>60). La composition variétale par jardin est légèrement différente d'un propriétaire à un autre. Les palmiers issus de graines ('Alfa) existent occasionnellement avec une fréquence d'un à six pieds par jardin à In Belbel. Ils atteignent plus à Matrouine et Aoulef.

4- Discussions

Le village d'In Belbel et son voisin Matrioune occupent de petites surfaces et hébergent une population qui dépasse aujourd'hui les 1000 habitants. Ils évoluent rapidement vers une intégration dans la vie moderne (commodités de vie plus importantes ; châteaux d'eau, éclairage à base d'énergie solaire, robinets d'eau, installation d'école et infirmerie, possession de véhicules). Pour ces raisons, l'aspect des deux villages est en pleine mutation marquée par l'urbanisation de plus en plus forte et l'utilisation de nouveaux matériaux de construction (briques en ciment et béton). Cependant, ils sont toujours isolés, et ceci à cause de leur implantation géographique éloignée des axes routiers de la région d'une part, et la difficulté financière pour asphaltier les pistes qui permettent leur accès d'autre part. L'introduction, bientôt, de l'électricité marquera un autre changement non seulement dans les maisons (utilisation de frigos, climatiseurs et téléviseurs) mais surtout la possibilité de pompage d'eau à partir de forages profonds.

Le réservoir d'eau avait nécessité la réalisation d'un forage profond. Les frais de son équipement et la charge financière de sa consommation étaient subventionnés. Avec les besoins en eau et qui sont en augmentation permanente, un nouveau forage a été réalisé et la mise en place d'un nouveau château d'eau est prononcée. Ces nouvelles installations changeront certainement les mentalités et permettront la pratique de nouvelles habilités. Quant à leur gestion, un bon nombre de problèmes surgirait si on n'assure pas les subventions nécessaires pour couvrir le consommable (carburant) et l'entretien des équipements.

Jusqu'à maintenant, l'oasis n'était pas visée directement par les actions du développement subventionné, mais elle subit les conséquences de celle-ci. L'ancienne foggara qui constituait le seul point d'eau pour couvrir les besoins (population, irrigation des jardins) avait diminué de débit. Ce qui avait poussé les habitants à creuser des puits individuels et installer de nouveaux jardins. Dépendre de motopompes non existantes et non réparées dans la région d'une part, et uniquement de l'inféro-flux des alluvions d'un oued rarement en crue d'autre part, les gens se sont cassés les bras pour résister, mais sans veine le système de petits puits était tellement fragile et individualiste qu'il a été rapidement abandonné. Une nouvelle foggara a été creusée par la population elle-même. Comme partout dans la région, l'entretien était parfois encouragé par une subvention limitée. Cette action avait réussi non seulement à entretenir l'ancienne palmeraie, mais aussi à récupérer tous les palmiers des jardins abandonnés et à les mettre sur une nouvelle surface. Ainsi, une nouvelle palmeraie a été installée. Celle-ci est actuellement en extension grâce à l'excès d'eau du nouveau forage qui est utilisé pour renforcer l'irrigation des cultures. L'oasis d'In Belbel, quoi quelle soit petite en surface, est un modèle de tous les oasis à foggara dans les régions Touat-Gourara-Tidikelt. On y trouve une trentaine de variétés de dattes et on pratique sous les palmiers plusieurs culture (blé, orge, tomate, oignon ...). Sans aucun appui, le système de production de ces petites

exploitations familiales, étant très limité, reste difficile à entretenir et il y a urgence pour le sauvegarder et étudier les possibilités de sa renaissance.

Les missions des cadres de l'Etat pour ces deux villages sont limitées à cause de l'éloignement et des difficultés d'accès. L'infirmier assure le service médical de base sur place et l'ambulance (véhicule nouveau) est un bon moyen pour le transport des urgences. Les missions des services de l'hydraulique ou de l'énergie solaire se limitent à l'installation des équipements et aux passages d'entretiens. Quant à l'agriculture, on remarque nettement l'absence de la vulgarisation agricole et la prise en charge de la production. L'extension des oasis et l'introduction des équipements agricoles (serres, tracteurs, engrais, pesticides ...) relèvent de l'initiative des villageois. Les techniques de lutte contre l'ensablement restent très élémentaires et sont moins efficaces que les brise-vent par des haies vivantes (Casuarina par exemple).

Les palmeraies d'In Belbel et Matrioune, sont indemnes du Bayoud. Nous espérons qu'elles resteraient ainsi. Heureusement que l'échange entre Aoulef et les deux villages est infime et aussi que le bayoud ne soit pas généralisé dans toutes les palmeraies à Aoulef. Malgré l'avantage de l'altitude et la latitude à In Belbel, la qualité de la datte est relativement la même que celle d'Aoulef ; il nous semble que les vents sont plus fréquents ou plus agressifs à In Belbel. La superficie des plantations, étant très petite par rapport à celle d'Aoulef. Par ailleurs, nous avons remarqué que les jardins sont mieux cultivés à Matrioune. Il est possible que l'oasis de ce deuxième village soit mieux protégée contre les vents par la topographie du site. Dans ces deux villages, les surfaces cultivées sont relativement très petites mais si les débits des eaux sont augmentés, les cultivateurs pourront faire plus de production par rapport à leurs besoins, en particulier en légumes de saisons (tomate, oignon, betterave, aubergine ...). Quant les conditions de transport seront réunies le surplus de la production pourrait être écoulé vers le marché d'Aoulef.

Le renforcement des eaux de la foggara par les eaux du forage est certainement bénéfique ; il diminue la salinité de l'eau de la foggara, améliore son influence sur les cultures et permet l'extension des plantations. Si la part d'eau prise à partir du forage est aujourd'hui modéré, elle augmentera plus tard, et surtout, après l'installation de la station d'énergie électrique. L'entretien de la foggara risquerait d'être négligé et son débit diminuerait. Ce scénario n'assure pas une garantie de subsistance de la foggara. Il pourrait y avoir aussi des tentatives pour creuser des puits afin de capter l'été-flux de l'eau dans le lit de l'oued et utiliser ces eaux à l'aide de pompes électriques individuelles, ce qui élargirait d'avantage les oasis. L'utilisation des eaux du forage pour l'irrigation fragilisera probablement l'entretien de la foggara, alors que se passera-t-il avec l'augmentation des prix de la consommation électrique et la non prise en charge de facteur par l'administration?

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Benkhalifa A. (1993) : Modifications des oasis consécutives au développement de technologie. Rapport de mission du 21/12/1992 au 25/01/1993 I. Synthèse préliminaire. URZA. M.E.N. Alger, Multigr. 12 p.
- Bac De La Perriere R.A. et Benkhalifa A. (1991) : La progression de la fusariose du dattier en Algérie. *Sécheresse* 2 : 119-128.
- Kobori A. And Al. (1982) : Case studies of foggara Oases in the algerian sahara and Syria. The Tokyo University Scientific Mission for the Comparative Study of the Foggara Oases in the Arid Zones of the Old Continent. Report n°2. 101 p.
- Voinot L. (1909) : Le Tidikelt. Etude sur la géographie, l'histoire, les mœurs du pays Ed. Jacques Gandin. Réimprimé 1955.

LE PROJET DE RJIM MAATOUG, UNE EXPERIENCE TUNISIENNE DU DEVELOPPEMENT DURABLE EN ZONE ARIDE

*Le Colonel Ahmed MEFTAH
Office de Développement de Rjim
Maâtoug - Kébili*

RESUME

En 1972, des prospections pétrolières dans la région saharienne de Rjim Maâtoug ont abouti à la découverte d'une nappe d'eau importante inexploitée.

Le Gouvernement tunisien, soucieux d'exploiter toutes les ressources naturelles nationales pour le développement du pays, a décidé d'utiliser cette réserve d'eau pour la mise en valeur de la région.

Des études techniques ont été menées pour fixer l'importance et la durabilité de la nappe avant d'entreprendre l'étude de faisabilité du projet.

En 1977, un premier forage a été creusé.

En 1984 : Après avoir obtenu des résultats encourageants permettant l'utilisation de la nappe, l'Etat a distribué 200 lots de terrain plantés en palmiers dattiers à Rjim Maâtoug et 100 ha à Matrouha. Un premier noyau de 300 agriculteurs se sont déjà installés dans la région.

Cette phase expérimentale a été concluante, et a incité les responsables à mener une étude approfondie pour la mise en valeur de 2500 ha. La capacité de la réserve d'eau permet l'exploitation de 2000 litres par seconde en artésien jusqu'à l'an 2020. Un plan directeur des eaux du Sud a été élaboré en conséquence pour permettre une exploitation rationnelle de l'eau.

En 1987, une étude technique très approfondie a été menée par le Centre National des Etudes Agricoles (CNEA) en collaboration avec le Bureau d'Etudes Italien BONIFICA.

L'équipe chargée de cette étude s'est fixée des buts à atteindre à savoir socio-économique, géo-écologique et stratégique. Voilà des buts qui répondent aux problèmes d'actualité.

En 1989, les pays de l'Union Européenne ont accordé au projet une aide financière représentant un peu plus de deux tiers du financement et, à la fin de la même année le projet a vu le jour. Un office a été créé pour la circonstance et s'est vu attribuer la noble mission de la réalisation de ce projet dont le coup d'envoi a été donné en janvier 1990 pour l'exécution d'une première tranche de 1152 ha à planter en 6 ans. Les lots plantés seront distribués aux agriculteurs à raison de 1,5 ha après leur entrée en production (5^{ème} année après la plantation). Un logement rural est également octroyé à l'agriculteur pour lui permettre de se fixer non loin de son lot.

Actuellement toute la première tranche a été réalisée. Les lots plantés en 1990 ont été distribués en Novembre 1995.

Le village conçu pour les agriculteurs répond à toutes les exigences du gouvernement visant à assurer au citoyen tunisien où qu'il soit une vie décente digne de l'ère du changement. Ainsi, par la création de l'école, le dispensaire, la route goudronnée, le réseau électrique et le téléphone rural, Rjim Maâtoug a émergé des confins du Sahara et est sorti de son enclave.

Des visiteurs des quatre coins du monde s'y sont rendus. Ils n'ont pas caché leur stupéfaction de voir le Sahara se verdoyer et produire. Ils ont exprimé le souhait de voir des projets similaires se réaliser dans les pays du Tiers Monde où sévit sécheresse, famine et chômage.

Le projet n'est pas encore achevé. Il reste à réaliser une 2^{ème} tranche d'une superficie de 1008 ha. Ainsi, à l'orée de l'an 2000, une véritable barrière verte sera dressée au sud-est de chott Djerid pour empêcher le Grand Erg Oriental de progresser et finalement Rjim Maâtoug aura gagné la bataille de lutte contre la désertification et ce par la sédentarisation de nomades reconvertis en agriculteurs convaincus que le Sahara peut enfin produire et contribuer au développement économique du pays, surtout lorsque les 2500 ha entrent en pleine production et fourniront 20.000 tonnes de dattes " Deglet Nour" qui seront injectés dans les marchés locaux et étrangers et de ce fait la production tunisienne de dattes sera doublée.

*N'est-ce pas là l'un des meilleurs exemples pour le développement durable
des zones arides ?.*

Je remercie les responsables de l'Institut des Régions Arides pour avoir organisé ce séminaire qui nous a permis de nous rencontrer, d'échanger les idées et de nous concerter sur un sujet d'actualité qui concerne les acquis scientifiques d'une part et les perspectives pour un développement durable des zones arides d'autre part.

Le hasard a voulu que ces 2 volets soient réunis dans le projet de Développement de Rjim Maâtoug.

En effet ce projet présidentiel de grande envergure, a des buts multidimensionnels, à savoir: Economique, Social, environnemental. C'est l'une des expériences tentées par la Tunisie dans le domaine de la lutte contre la désertification. Elle a été précédée par d'autres, dans différentes zones visant le même but, mais les résultats ont été différents étant donné la spécificité de chaque région.

Le projet de Rjim Maâtoug dès la phase de l'étude, a tenu compte de tous les résultats enregistrés au cours des projets antérieurs, a réuni toutes les données favorables à la création de nouvelles Oasis pour atténuer la progression du grand erg oriental venant de l'Algérie direction Sud-O. N.E, traversant Rjim Maâtoug pour finir non loin du golfe de Gabés.

Considéré comme étant le plus grand projet de mise en valeur Agricole dans le Sud Tunisien, le projet de Rjim Maâtoug est une composante du « plan Directeur des Eaux du Sud » (P.D.E.S) qui a été définitivement établi en 1976, se basant d'une part sur les ressources en eau reconnues dans le Sahara septentrional et d'autre part sur les besoins en eau des populations et des différents secteurs économiques dans le Sud Tunisien.

Le P.D.E.S constitue une étape décisive dans l'exploitation rationnelle des ressources en eau dans le Sud Tunisien. Le facteur eau reste en effet déterminant dans tout le projet de mise en valeur Agricole ou autre dans le Sud. C'est dans le cadre du P.D.E.S que l'avenir des régions sahariennes a pu être envisagé. Un tel avenir était logiquement inconcevable avant cette date. L'application progressive du P.D.E.S s'est accompagnée d'un suivi précis et constant des débits prélevés des différentes nappes et de leurs caractéristiques. Les données obtenues ont permis une actualisation des études sur les ressources en eau du Sahara septentrional à partir de mailles plus denses (PNUD-UNESCO, 1983).

L'étude citée a confirmé les données sur la nappe du complexe terminal et a relevé qu'il est possible de mobiliser des ressources supplémentaires de 2000 l/s dans la région très peu exploitée du Sud-Ouest du chott Jerid plus particulièrement dans la zone de Rjim Maâtoug.

Avant d'aller plus loin, nous allons d'abord nous situer géographiquement.

-Où se trouve Rjim Maâtoug?

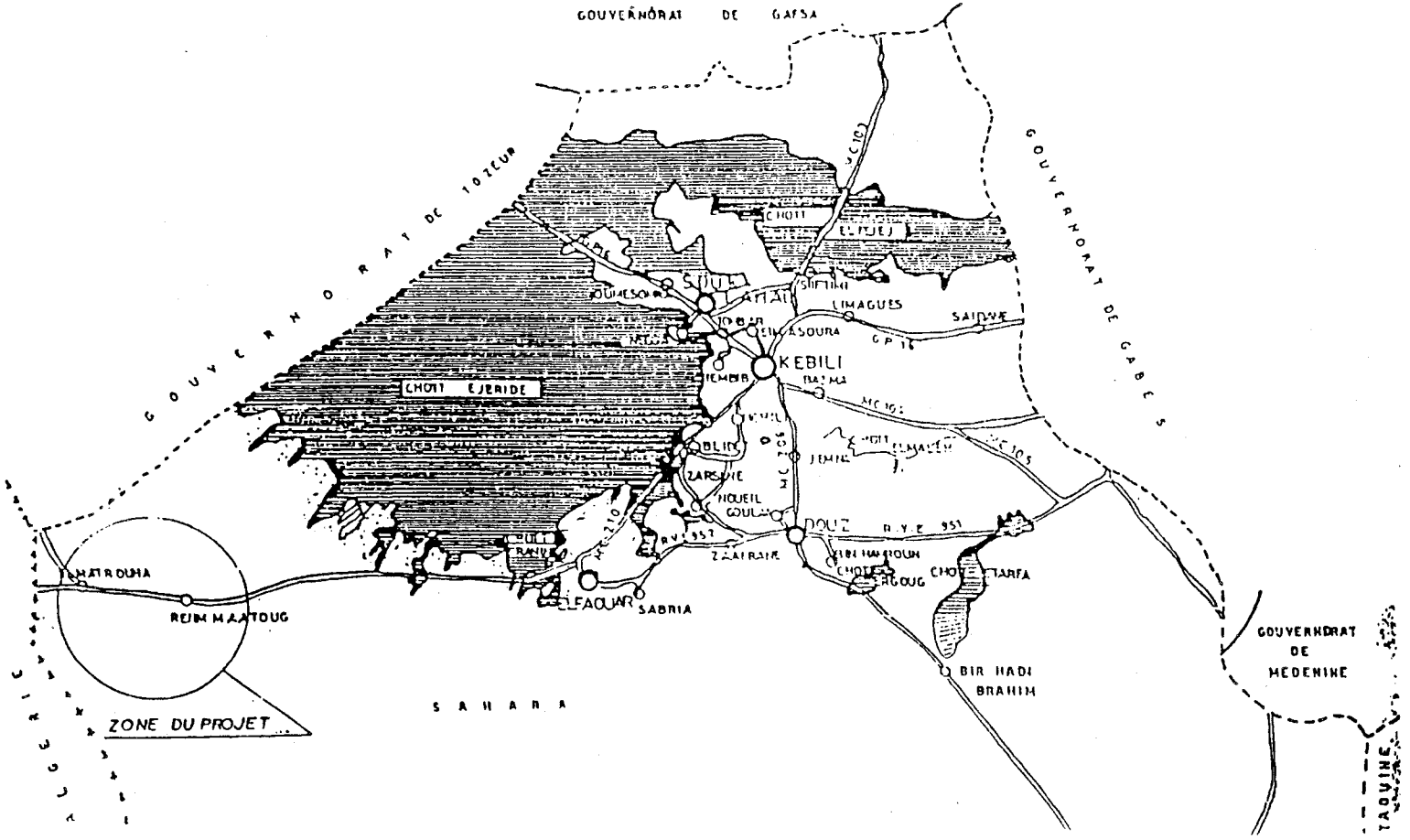
LOCALISATION DU PROJET

- **Gouvernorat de Kébili**
- **Région du Nefzaoua**
- **Délégation El Faouar**
- **De part et d'autre de l'axe routier Rjim Maâtoug et Matrouha**
- **120 Km de Kébili**



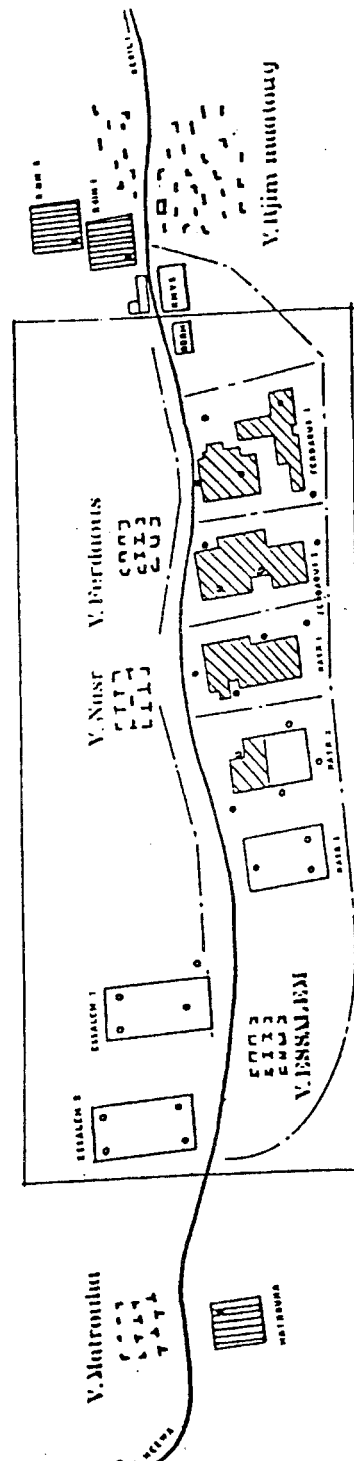
Schéma 1: Localisation du projet.

ZONE DU PROJET



Séminaire international « Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides »

SCHEMA DU PROJET



Maintenant qu'on connaît la région, voyons pourquoi un projet si ambitieux a été réalisé ici plutôt qu'ailleurs?

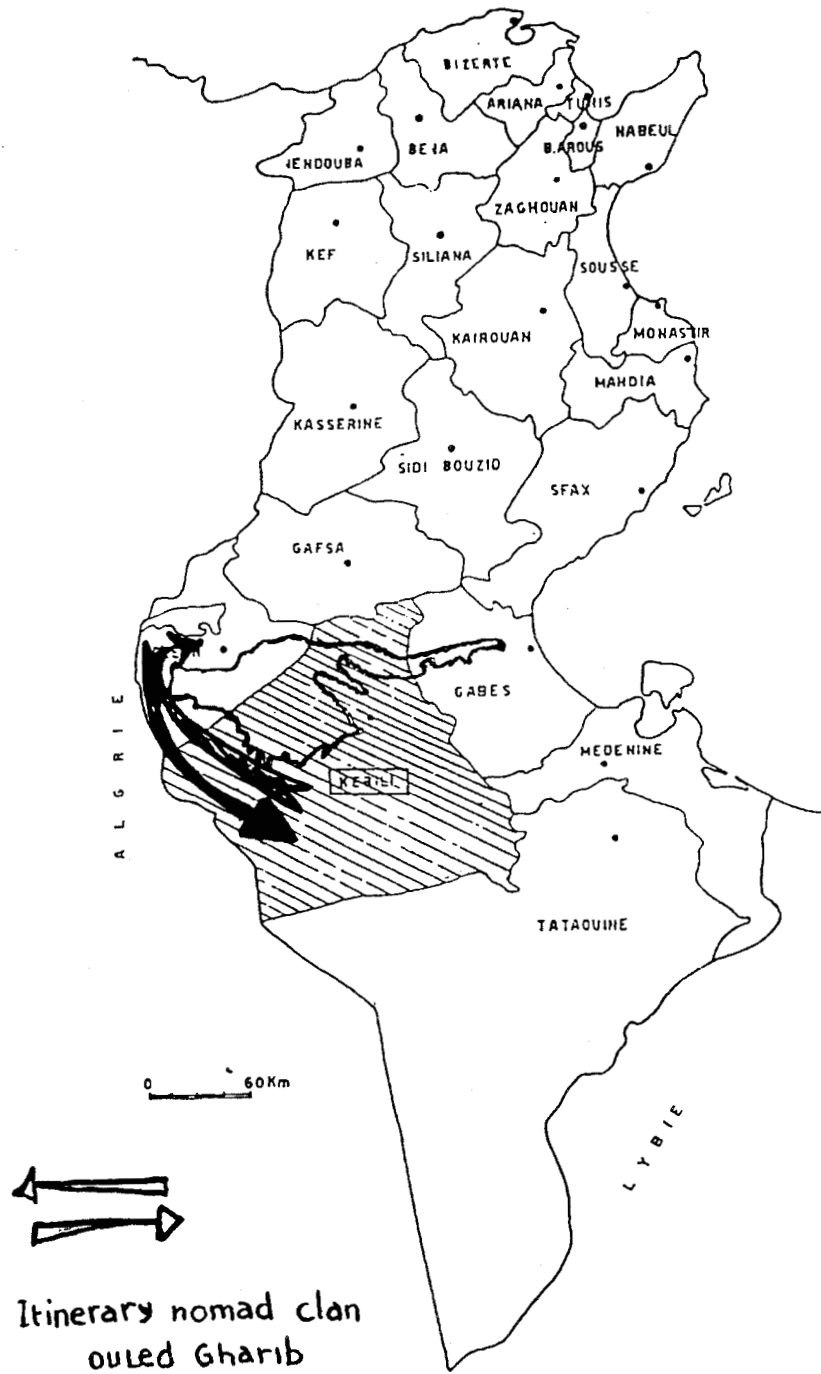
La première raison c'est la découverte d'une réserve d'eau importante qui pourrait être exploitée pour la mise en valeur de la région.

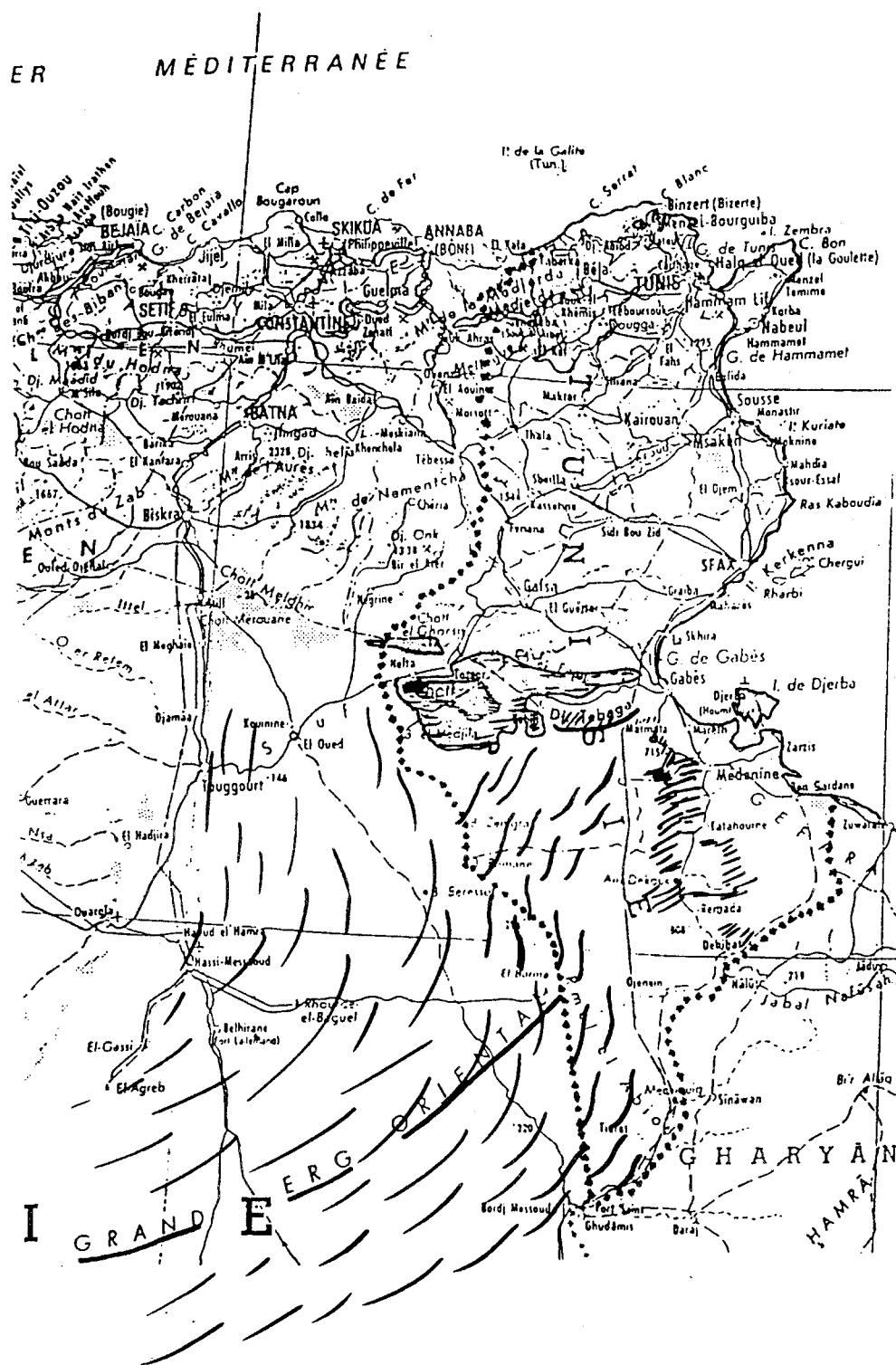
La deuxième raison est l'existence d'une population de nomades qui pratique la transhumance au Sud du Chott Djerid, le contourne à l'Ouest en passant par Rjim Maâtoug et remonte jusqu'à Nefta. C'est la tribu Ghrib originaire de la région.

La troisième raison est la menace perpétuelle de désertification causée par le grand Erg oriental.

Après avoir rassemblé toutes ces données, l'Etat Tunisien a confié au Ministère de la Défense Nationale une mission de travaux d'infrastructure en 1975.

En effet, les travaux d'ouverture de pistes sahariennes, particulièrement Douz-Elfaouar-Rjim Maâtoug ont permis à d'autres organismes intervenants d'accéder à la zone du projet. La construction de logements ruraux, de l'école et du dispensaire a facilité la fixation du premier noyau de nomades. Ces travaux ont duré jusqu'en 1977, et depuis le projet est passé par 2 phases remarquables:





Une 1ère phase de 1977 à 1989

C'est une phase expérimentale qui a été réalisée avec L'Office de Mise en valeur des Périmètres Irrigués de Gabès-Médénine, puis le Commissariat Régional au Développement Agricole de Kébili, puis le Régiment de Mise en valeur du Sahara et son unité de Développement de Rjim Maâtoug à partir du 1er Octobre 1984. Elle avait pour but de tenter une 1ère expérience qui servira de test pour l'avenir. C'est pourquoi elle a concerné seulement la création de trois périmètres irrigués de 100 ha chacun avec forages et l'installation des premières habitations en dur du village de Rjim Maâtoug et Matrouha avec l'école et le dispensaire.

Cette première phase a permis donc de franchir le 1er pas, de lancer le processus de colonisation et d'attribuer des lots plantés de 1 ha aux ayants-droit de la zone.

L'expérience a réussi malgré quelques lacunes qu'on pouvait éviter et dont on a tenu compte pour la phase suivante.

2ème phase de 1990 à 1995

Compte tenu des résultats enregistrés au cours de la phase expérimentale, on a été amené à entamer une seconde phase, laquelle a été précédée par une étude très approfondie, basée sur des facteurs techniques, climatiques, sociologiques, et économiques.

Le projet étant très ambitieux, l'étude de base s'est fixée des objectifs à savoir.

1/ Objectif Socio-Economique

Depuis son indépendance, la Tunisie cherchait à fixer les Ghribs, dernière tribu de nomades.

Leur sédentarisation reste primordiale. C'est la raison pour laquelle, tous les efforts ont été déployés pour créer des points d'eau, une ressource de vie pour les éléments précurseurs de nomades et bien entendu le logement et toute l'infrastructure sociale environnante.

Cette opération vise à :

- Eviter l'exode rural
- Améliorer le niveau de vie
- Créer des emplois
- Accroître le volume de production agricole.

Principaux Objectifs

1- Objectifs socio-économiques:

- **Accroissement de la production (20.000 t/an) exportable**
- **Création de nouveaux emplois**
- **Amélioration du niveau de vie : sédentarisation de la population, assurance des service sociaux (écoles, maison de jeunes, dispensaires, mosquée)**
- **Eviter l'exode rurale**

2/ Objectifs Geo-Ecologiques

- Lutte contre la désertification par la création d'un cordon vert, véritable barrière à l'avancement du désert.
- Décongestion des anciennes Oasis qui ont atteint leur limite d'extension.
- Utilisation des terrains protégés à des fin agricoles.

En 1988, le centre National des Etudes Agricoles et le bureau Italien BONIFICA ont achevé l'étude.

En 1989, l'Office de Développement de Rjim Maâtoug, placé sous tutelle du Ministère de la Défense Nationale a été créé et a reçu pour mission de réaliser sur des bases solides et scientifiques, une véritable muraille verte, destinée à la fois, à réguler le climat et retenir le sable, mais aussi à favoriser la sédentarisation des populations.

En 1990, les travaux ont démarré, des travaux de titans qui comportent la réalisation de forages, l'équipement hydro-agricole, la protection éolienne des routes d'accès et de l'intérieur des Oasis par la construction de barrières formées par des bandes biologiques complétées de palissades en palmes sèches, la construction de villages et leur approvisionnement en eau potable et en électricité, sans oublier l'infrastructure sanitaire, et socio-éducative. Ces nouveaux villages seront reliés par des routes goudronnées aux grandes agglomérations du Sud et du Nord.

La concrétisation de ce projet d'envergure a été scindée en deux tranches, pour des raisons purement économiques.

Une première tranche de 1152 ha a démarré en 1990 pour une durée de 5 ans.

La fin du projet, prévu pour l'an 2005 verra l'installation de trois villages totalisant 1500 familles.

Nous allons voir les techniques employées durant la réalisation de la 1ère tranche.

Réalisation des travaux

Au début de notre intervention, le terrain vierge se présente sous forme de sol sablonneux où pousse une végétation composée de genêts, Zita alenda qui résistent à la sécheresse.

Il va falloir transformer ce terrain désertique en terrain agricole. Pour cela, il est nécessaire de recourir aux actions suivantes:

- Protéger la zone du projet par des palissades en palmes sèches, renforcée par une protection biologique constituée d'Eucalyptus, d'acacia et de casoarina qui se sont avérés efficaces et résistants après 2 ou 3 années de sauvegarde. A propos des palissades en palmes sèches, c'est une technique locale très ancienne. Elle est économique, pratique et plus résistante que n'importe quel autre matériau. On a essayé de remplacer les palmes

par des tôles en amiante-ciment ou en matière plastique, mais leur résistance à la chaleur et leur coût élevé ont fait qu'elles ont été abandonnées.

- Réaliser les forages et l'équipement hydro-agricole
- Aménager les parcelles à planter
- Protéger les parcelles à planter
- Planter et protéger les rejets contre le sable et la chaleur
- Irriguer dans les délais et respecter la quantité d'eau à donner au jeune palmier
- Veiller à l'économie de l'eau en évitant les pertes par fuite ou inattention pour que le système artésien

tienne le plus longtemps possible.

Le projet de Rjim Maâtoug a une particularité qui lui est propre, c'est la présence d'une station d'appui destinée à faire des essais d'arbres fruitiers et de cultures maraîchères et fourragères à planter en deuxième niveau dans les Oasis. Les essais réussis sont communiqués aux ouvriers agricoles dans le cadre de leur formation et de la vulgarisation. Ces genres de culture soit de saison soit des primeurs cultivés sous serre assurent à l'agriculteur un revenu supplémentaire.

Plusieurs essais ont réussi : raisin, pomme, poires, abricot, pêches, melon, pastèque, tomate, piment, pomme de terre courge, henné, etc...

Dans cette station on a essayé également les méthodes d'irrigation, pour choisir la plus économique. Jusqu'à présent, le choix s'est fixé sur le tuyau souple et le goutte à goutte. Les autres méthodes sont sujets à des pertes soit par infiltration dans le sol sablonneux, soit par évaporation par suite du climat très chaud.

Exécution des travaux de la 1^{er}E tranche

I/ Composantes, Financement, Realisations et Finalite du projet

1- Les Composantes du projet

La première tranche dont la réalisation à été programmée de (1990-1995) à été achevée dans les délais malgré les conditions climatiques souvent très défavorables.

Ces composantes se résument comme suit :

Composantes	Volume
- protection physique	500 Km
-protection biologique	120 ha
-création de forages	13
-piézomètres	04
- Réseau d'irrigation	1080 ha
- plantation en palmiers dattiers	1152 ha
-création d'une station d'appui	6 ha
-Electrification: Ligne axiale	110 Km
groupe électrogène	02 Unité
-Infrastructure sociale: (siège office, magasin de stockage, logements ruraux et services sociaux ...etc).	soit environ 10900 m2

2- Le Financement du projet

Le coût de la 1^{ère} tranche du projet est évalué à 32.000 000 Ecu répartis comme suit :

*Financement UE :	15.000.000 Ecu
*Financement Tunisien :	10.000.000 Ecu
*Financement Italien :	07.000.000 Ecu

3-Realisations

Composantes	Unité	Réalisation
Protection forestière:		
-palissades	Km	400
-plantation	ha	120
-sauvegarde	ha	120
Forages:		
-pistes	Km	30
-plate-formes	Nbre	18
-Forage	Nbre	13
-piézomètres	Nbre	04
Réseau d'irrigation:		
-pose conduites PVC 160	ha	72
-Travaux génie civil et pose	ha	1152
-pose conduites forêts	Km	37
Aménagement et plantation		
-Aménagement	ha	1152
-Plantation	ha	1152
Station d'appui	ha	04
Bâtiment d'exploitation		
-Siège office	m2	270
-Magasin de stockage	m2	750
-Logements et villas	m2	758
-Logements ruraux	m2	9000
-Services sociaux	m2	300
Electrification:		
-Ligne axiale	Km	25
-Ligne Faouar-Rjim	Km	75

4- Finalite

La démarche qui ne s'intéressait au départ du projet qu'aux aspects techniques, pour livrer aux attributaires des lots « clé en main » de 1 ha, irrigués, plantés et protégés contre l'ensablement, s'est progressivement ouverte à la prise en compte du facteur humain qui est la base essentielle de la réussite du projet. Partant de la et tenant compte des expériences passées où, particulièrement à Rjim 1 et 2, on a donné à chaque agriculteur un lot de 1 ha planté et une prime mensuelle de fixation, dans d'autres projets on a attribué 2 ha et un logement, sans infrastructures à des agriculteurs venant de villes environnantes, à Rjim Maâtoug, la situation est très différente.

On a constaté que malgré les conditions difficiles au début du projet, les agriculteurs se sont fixés parce qu'ils sont originaires de la région. Par contre dans le cas précédent, la plupart des agriculteurs ont quitté les lieux du fait qu'ils vivaient dans un milieu citadin et ont été implantés dans un milieu oasien.

Tenant compte de ces facteurs négatifs, il a été décidé dans notre projet d'adopter la procédure suivante:

- attribuer des lots de 1,5 ha (entre 1 et 2) à la fin de la 5^{ème} année quand ils entrent en production
- attribuer un logement
- doter le village de l'infrastructure sociale et de base: (dispensaire, école, route, électricité, eau, téléphone)
- approcher le village de l'Oasis
- assister les agriculteurs pendant 4 ans après l'octroi des lots
- les attributaires qui sont des ouvriers de l'Office reçoivent une formation agricole sur le tas
- changer l'ancienne mentalité des agriculteurs de la région qui ne s'intéressaient qu'au palmier, alors qu'en réalité, ils peuvent pratiquer des cultures intercalaires, de saison ou sous-serre pour assurer des revenus supplémentaires. Cette opération se fait sous forme d'essais dans notre station d'appui où les nomades transformés en agriculteurs se sont étonnés de voir les pommes de terre pousser dans le Sahara, les tomates, les piments, les melons, les pastèques, les pommes, les poires, les abricots, parce qu'ils les ont produits eux-mêmes sous la directive du technicien agricole.

II/ Impact du projet sur la Zone et son avenir

1- Creation d 'infrastructure

L'implantation du projet dans la Zone de Rjim Maâtoug a permis en premier lieu à la fin des années 1980, la liaison de Rjim au reste du Gouvernorat par une piste très peu praticable.

La création des périmètres de Rjim et Matrouha à 23 km l'un de l'autre, a été à l'origine du goudronnage de la route les reliant pour faciliter la communication dans la zone.

Après 1990, et suite à la mise en exécution du projet par l'Office, le trafic sur la route Kébili-Rjim s'est intensifié. En effet la livraison des fournitures au projet et le déplacement des ouvriers et agents de l'Office sont devenus quotidiens.

Parallèlement le village de Rjim s'est peuplé et le déplacement des habitants entre Rjim et Faouar est devenu fréquent.

Pour faciliter tout ce trafic routier, la route reliant Rjim à Faouar a été goudronnée (70Km) ainsi la Zone du projet s'est branchée sur le réseau routier national.

La mise en place de la route a facilité aux PTT et à la société Tunisienne d'Electricité et du gaz l'accès pour étendre leurs réseaux respectifs à Rjim. De ce fait la zone est sortie de son isolement.

Le goudronnage de la route Matrouha-Hazoua a permis de fermer la boucle Tozeur-Rjim-Kébili-Tozeur, qui encercle le chott Djerid et encourage certes une activité touristique autour du chott et ouvrira d'autres horizons pour des activités économiques génératrices de revenus pour les habitants de la Zone.

Cette route permettra aussi d'élargir les possibilités d'écoulement de la production à moyen et long terme. En effet deux circuits deviennent possibles à savoir Rjim -Kébili et Rjim-Tozeur, d'autant plus que la ville de Tozeur dispose d'un aéroport et d'une activité touristique développée.

Toute cette infrastructure mise en place dans un laps de temps très court est de nature à encourager la population à se fixer dans la zone du projet, à stimuler l'activité économique, inciter des capitaux à s'y investir et participer au développement de Rjim Maâtoug qui est l'objectif majeur de la conquête de la Zone.

Perspectives pour un développement durable

1- Production

Production Dattière

L'entrée en production du palmier, tenant compte d'un âge de 2 ans pour les rejets, est prévue à la 5ème année de plantation et pourrait se stabiliser dès la 10ème année sur des sols légers et sous des conditions thermiques propices avec une conduite judicieuse de l'irrigation et du drainage, et avec des apports suffisants en fumure.

Toutefois, pour tenir compte de l'hétérogénéité des agriculteurs et par mesure de prudence, l'étude considère que le régime de croisière serait atteint à la douzième année du projet; les dattes produites les premières années (5ème à 8ème année) seront de qualité inférieure, celles produites en 9ème et 10ème année seront de qualité intermédiaire. Les dattes qui seront produites à partir de la 11ème année seront de très bonne qualité et pourront être écoulées sur le marché étranger.

L'évolution de la production à Rjim Maâtoug dépend des hypothèses suivantes:

-Entrée en production du palmier à partir de la 5ème année.

-La production, tributaire des conditions climatiques et culturelles, se stabiliserait entre la 13ème et la 14ème année.

Ainsi on estime que la production totale de la 1ère tranche de Rjim Maâtoug serait de 5000T à l'an 2000.

Cependant l'année de croisière se situerait à l'an 2013 avec une quantité de 10 000 T.

Productions arboricole, maraîchère et fourragère :

Chaque lot a une superficie nette de 1,5 ha dont 1,32 sont directement plantés par le projet en dattiers, le reste (0,18ha) conservé en alvéole nue permettra à l'agriculteur de pratiquer des cultures annuelles. De même, identiquement au système oasien existant, des cultures en intercalaires, arboricoles maraîchères et fourragères peuvent être pratiquées et assureront un revenu supplémentaire à l'agriculteur qui doit diversifier ses sources de revenu et les étaler sur toute l'année.

En effet l'expérimentation pratiquée par les services techniques de l'office au niveau d'une station d'appui annexée au projet, a permis de vérifier l'adaptation de certaines cultures aux conditions spécifiques de la Zone. Les résultats sont affirmatifs pour la plupart des cultures maraîchères, en l'occurrence, piment, tomate, concombre, pomme de terre, melon, pastèque, carotte, navet, oignon, ...etc.

De même plusieurs espèces arboricoles ont manifesté un développement végétatif encourageant, en particulier le pommier, poirier, abricotier, figuier, raisin, grenadier...etc.

L'association de la vie oasienne à l'élevage est une évidence dans les milieux oasiens d'autant plus que la luzerne, le sorgho et l'orge en vert nécessaires à l'alimentation du détail poussent bien dans la Zone. Le troupeau de la Zone peut être mieux servi si une culture arbustive sera installée pour rentabiliser l'eau de drainage qui sera évacuée des périmètres de Rjim 1 et 2.

2- Commercialisation

L'action du projet se limitera à la mise en valeur. Toutefois, il est prévu la construction de centres de collecte au niveau de chaque oasis qui seront de véritables lieux de stockage et sont conçus en penderie pour le mûrissement des dattes.

Le projet compte sur l'initiative privée conformément à la politique du pays, qui vraisemblablement suivra le rythme de la production.

Toutefois, l'étude suggère d'être attentif et prudent même si la production actuelle d'El Faouar n'a jamais posé de problèmes du fait de sa précocité, et que l'Etat peut intervenir par le circuit bancaire et l'organisme de mise en valeur pour donner les encouragements nécessaires à la création d'une ou de plusieurs sociétés de commercialisation et d'exportation.

Une action de l'Etat encouragera dès les premières années d'entrée en production du projet; c'est la création de véritables marchés de dattes dans la zone, chose inexistante actuellement à El Djerid et dans le Nefzaoua. Ces marchés saisonniers pourront être tout près des centres de collecte et faciliteront la rencontre de l'offre et de la demande dans de meilleures conditions.

Le conditionnement tout comme la commercialisation est l'oeuvre des sociétés de commercialisation qui bénéficient des encouragements de l'Etat et des prêts bancaires pour l'acquisition d'équipements nécessaires pour la stérilisation et le conditionnement des dattes.

3- Création d'emplois

L'étude du projet élaborée en 1987 a mis en exergue l'intérêt du projet sur le plan économique et a précisé qu'il permettra la création de 700.000 journées de travail pour la main d'oeuvre ordinaire et de 90 emplois permanents pour le personnel du projet.

Durant les travaux de réalisation du projet de 1990 à 1996, l'Office a offert 90 emplois permanents (cadres et techniciens) 600 ouvriers.

Ce même effectif sera utilisé pour la réalisation de la 2ème tranche qui durera jusqu'à l'an 2000.

Or, après l'installation de tous les agriculteurs, vers l'an 2006, il y aurait 1500 familles, donc au moins 3000 emplois dans le secteur agricole, sans compter les petits métiers, les administrations, etc...

Conclusion

Dans son ensemble le projet de Rjim Maâtoug ouvre de nouvelles perspectives pour l'économie régionale et les populations locales. Une nouvelle et décisive étape est franchie dans la conquête et la revalorisation de l'espace Saharien.

Le regain d'intérêt pour l'agriculture Saharienne n'est pas particulier à la Tunisie. Il intéresse l'ensemble du plus grand désert du monde et des pays Sahariens, grands producteurs de pétrole en tête:

Dans ces pays, des projets grandioses de culture irriguée, financés par des masses énormes de pétro-dollars, utilisant une technologie sophistiquée, un matériel totalement importé, une main d'oeuvre étrangère, voient progressivement le jour.

Ce qui distingue l'expérience Tunisienne c'est la réalisation de projets de taille relativement modestes, totalement maîtrisés de l'amont à l'aval et assurant la naissance d'une nouvelle paysannerie, seul garant d'une mise en valeur durable et d'un développement régional réel, grâce à un amalgame de techniques traditionnelles locales et de techniques modernes qui ont donné leur preuve.

Avant de vous quitter, mesdames et messieurs, je profite de ce Séminaire International et de l'expérience que j'ai vécue pour diriger ce projet dont je suis très fier pour lancer du haut de cette chair un double appel.

Le 1ère appel s'adresse aux savants et chercheurs. A ceux-ci je dirai que la découverte de l'uranium a abouti à la fabrication de la bombe atomique destinée à semer la terreur. Les résultats, les japonais les connaissent, nous aussi.

Malgré cela, les essais se poursuivent et la science nucléaire évolue.

D'un autre côté, les essais pour la conquête de l'espace ont commencé il ya 40 ans et se poursuivent encore pour des buts stratégique, tactique, météorologique et surtout la télécommunication qui facilite entre autre, l'interception de chaînes de télévision malsaines qui incitent à la débauche et favorisent la propagation du Sida.

Les frais occasionnés pour ces genres de découvertes sont exorbitantes.

Parallèlement, il ya encore des peuples sur notre planète, en cette fin du XXème siècle qui vivent à l'état primitif et qui souffrent et meurent de faim par manque de nourriture parce que le destin les a condamnés à vivre dans des pays arides étant donné leur situation géographique.

Ces peuples attendent que les savants et chercheurs en éremologie à l'instar de leurs homologues en recherche nucléaire et spatiale se penchent sur le problème et étudie la possibilité de découvrir des procédures pour parer au phénomène de la désertification, de mettre à la disposition des hommes de terrain les techniques appropriées pour faire face aux ergs et aux regs qui les menacent.

En Tunisie, la campagne de lutte contre la désertification a démarré en 1975, après la découverte de l'eau en 1972. Nous appliquons un amalgame de techniques, traditionnelles et modernes. Ce sont des acquis scientifiques certes. Mais la découverte de techniques plus poussées aiderait à consolider ces acquis.

Le 2ème appel s'adresse aux pays riches. Ceux-là je les conjure de jeter un clin d'oeil aux pays déshérités et les aider à combattre la désertification qui sévit en Afrique et en Asie sans oublier que l'Europe et l'Amérique sont aussi menacés.

J'espère que les représentants des organisations internationales ici présents, fassent part de ces appels

à leurs organisations et les exhortent à se pencher sur ces problèmes d'ordre humanitaire, tout en étant convaincu qu'en conjuguant les efforts entre organisations gouvernementales et non gouvernementales, on aboutira à des résultats concrets.

Puisse mon appel trouver un écho favorable.

Amen!

SYSTEMES DE PRODUCTION ET POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT DANS LA DELEGATION D'EL HAMMA - GABES SUD TUNISIEN

ROMDHANE. A.
Institut des Régions Arides - Médenine

RESUME

La délégation d'El Hamma, située au Sud-Est de la Tunisie a subi des transformations socio-économiques orientées par les traditions agro-pastorales de ses habitants, les « Beni-Zid ».

Ces transformations se sont traduites par la privatisation partielle des terres collectives, la création des périmètres irrigués aux dépens des terres de parcours, l'aménagement de certains secteurs de steppes en plantation avec création de miro-terroirs, plantation d'olives et autres arbres fruitiers derrière les tabias, l'installation des grands projets produisant des légumes primeurs destinés à l'exportation et la création d'habitants dispersés d'un type nouveau.

Les nouvelles stratégies de production agro-pastorale dans le sud tunisien sont dominées par l'orientation des jeunes vers d'autres activités extra-agricoles, l'achat d'aliments concentrés, la vente de l'eau pour l'abreuvement des animaux, la transhumance vers le Nord du pays, etc ...

Cette étude n'est qu'une tentative d'analyser et d'évaluer l'ensemble de ces transformations...

Les enquêtes réalisées sur le terrain ont permis d'identifier le système de production reflétant la diversité des stratégies ; il se dégage en particulier l'importance primordiale du revenu de l'élevage des ovins et des caprins.

Les exploitations agricoles se distinguent par des revenus inférieurs à 1000 dinars tunisiens, elles sont souvent en difficulté et leur viabilité ne paraît guère assurée ...

Les conceptions socio-juridiques n'ont pas été prises en compte dans les différentes actions d'aménagement;

Néanmoins, la bonne gestion de l'eau, la mise en défens des parcours, les travaux de conservation des eaux et sols, la mise en valeur des plaines de Oglet Merteba, El Bhaier et les petits projets intégrant les autres métiers non agricoles seraient susceptibles d'améliorer les revenus, éviter l'exode rural et lutter contre la désertification ...

Mots clés : sud tunisien, aridité, Beni-Zid, El Hamma, système de production, projets de développement, agro-pastoralisme, dynamiques locales.

SUMMARY

The district of El Hamma in the south-east of Tunisia has known socio-economic changes reflecting the agro-pastoral customs of the Beni-Zid people.

The changes found expression in the privatisation of land collectives, the creation of new irrigated perimeters and the expense of the covered lands, the planning of some steppes where we can see olives and fruit trees behind the tabias near the jebels and the construction of many habitations.

New strategies of agro-pastoral production in the south of Tunisia are dominated by next ways of managing natural resources like buying animal feeds, sale of water for animals and transhumance towards the North of the country.

This investigation is an attempt to analyse and value all these changes. « pastoral breeding continues at play an important economic role ».

Agriculture in the oases is distinguished by incomes lower 1000 Tunisian Dinars prompting frequent difficulties for farmers whose viability never seems assured.

The climatic conditions and the tribal traditions were not considerate in the different actions of management.

Nevertheless, the improve use of water, better defence of animals and showing the advantages of Oglet Merteba and El Bhaier could be able to augment the revenues and prevent further exodus from rural areas and defend against desertification.

INTRODUCTION

Les changements socio-économiques enregistrés au niveau de l'espace et de la société dans la délégation d'El Hamma-Gabès sont générateurs d'un certain nombre de problèmes. Les efforts de mise en valeur et de développement entrent en effet en conflit avec les traditions agro-pastorales et sont parfois agressifs pour le milieu.

Le relâchement des liens sociaux, l'affaiblissement des structures familiales, l'appauvrissement de la population et la privatisation des terres collectives sont les caractéristiques les plus frappantes du nouvel état de cette société.

Face à une telle situation se manifestant par une différenciation des systèmes de production, par des disparités sociales - en ce qui concerne la propriété des terres, du cheptel et des revenus, une nouvelle politique d'aménagement est à l'étude : elle vise à améliorer les conditions de vie, à réduire l'exode rural, à lutter contre la désertification et à produire des légumes primeurs destinés à l'exportation.

Certaines améliorations nettement perceptibles, la situation est inquiétante : la création des périmètres irrigués et le développement de l'arboriculture en sec et de la céréaliculture sur les anciens parcours collectifs d'El Bhaier, du Chareb et Oglet Marteba ont entraîné la réduction des parcours.

À partir de l'étude de l'espace agro-pastoral de la délégation d'El Hamma, lieu d'action de nombreux projets pour la lutte contre la désertification et la sauvegarde du capital oasien, notre travail vise à contribuer à la recherche d'une meilleure approche des problèmes de l'aménagement en zones arides et du choix des solutions adaptées au cadre spécifique de l'évolution socio-économique de la population.

Nous allons présenter des différents systèmes de production, analyser la politique de développement et dégager les problèmes de l'aménagement en zones arides tunisiennes et du choix des solutions adaptées au cadre spécifique de l'évolution socio-économique de la population.

I - Présentation de la zone D'EL HAMMA-GABES

Située à 20 Km de la ville de Gabès, elle couvre une superficie totale de 2315 Km² (soit 35% de la superficie totale du gouvernorat). Comme tout le Sud-Est tunisien, elle est soumise aux influences du climat méditerranéen aride doux, caractérisé par l'irrégularité inter-annuelle de la pluviosité et par une température moyenne élevée.

Incluse toute entière dans une zone très peu pluvieuse, elle se situe entre les lignes isopluyométriques de 130 mm et de 170 mm.

La région d'El Hama est caractérisée par la présence de grands jebels (Tebaga-Aziza, Hdhifa, etc...) et de petites collines à croûte gypseuse s'inclinant doucement vers l'Est. Plusieurs groupes de sols isohumiques (MEKRAZI, 1975). Les sols favorables aux activités agricoles surtout l'arboriculture en sec, sont les terrains aménagés en jessour. Ces techniques de maîtrise des eaux de ruissellement sont effectuées dans les zones de sols peu évolués d'érosion (sur calcaires limoneux).

La steppe d'El Hamma est colonisée par une végétation à caractère stéppique très basse dépassant rarement les 50 cm de hauteur. Les espèces se présentent sous forme d'association avec des taux de recouvrement variables. Parmi lesquelles on peut citer : *Stipa tenacissima* (Alfa) domine les sols calcareux et les sols rendziniiformes de montagne. *Raumiria vermiculata* (Zeyata) colonise les jebels et l'ensemble des croûtes gypseuses. *L'Arthrophytum scoparium* (Remeth), *Lygeum spartum*, *Aristida pungens*, constituent l'essentiel de la végétation naturelle de la zone d'El Hamma. Cette végétation connaît actuellement une dégradation importante causée par une surcharge animale et par une mise en valeur agricole.

1.1- Démographie et structures sociale

Selon les vieux notables, des familles venues de tous les coins du monde musulman, regroupées dans la région d'El Hamma et se seraient baptisées Beni-Zid « fils de l'augmentation ». Les Beni Zid, passionnés de la vie nomade et pastorale, étaient renommés pour leur qualité de combattants, très solidaires et attachés à leur territoire. Ils forment la grande tribu bedouine du Sud-Est tunisien et tirent l'essentiel de leurs revenus de l'élevage extensif.

L'évolution démographique des Beni Zid a commencé vers la fin des années 20 et s'est confirmée durant les années 30 (GRENIER, 1952). Remise en cause par les grandes sécheresses des années 40, elle ne se précisera qu'à partir des années 60. En effet, le taux annuel de croissance de population de la délégation d'El Hamma est passé de 1,4% entre 1956-66, 2,4% entre 1975-84 à 4% entre 1984-94.

Tableau N:1: Evolution annuel de la population et du taux d'accroissement annuel dans la délégation d'El Hamma Gabès (I.N.S, 1984).

Années	Populations	Taux d'accroissement (%)
1956	27 227	1.4
1966	32 251	1.6
1975	42 395(11 000*)	
1984	42 934	2.4
1994	58 873	

L'amélioration des conditions de vie, la multiplication des écoles, des dispensaire, de marchés etc..., sont certainement derrière le boum démographique.

En raison de la précarité climatique (pluviométrie inférieur à 200 mm/an), l'agriculture est aléatoire et n'occupe que temporairement une main d'oeuvre attirée par un travail rémunéré le jour au jour. La conduite des troupeaux devient une activité difficile, elle est souvent pratiquée par des bergers salariés (OMRANI, 1982).

Notre enquête menée en 1991 auprès d'un échantillon de 112 familles à révélé que 4,4% des chefs de famille sont agriculteurs-commerçants; 1,7% sont agriculteurs-fonctionnaires; 8% sont agriculteurs-retraités et 20% ayant d'autres activités. L'émigration n'a intéressé que 800 personnes, essentiellement les fils des petits éleveurs. Cette émigration surtout vers l'Europe s'est arrêtée vers les années 70, parmi ces émigrés il ne reste que 600 personnes.

1.2- La situation foncière de la délégation d'El Hamma

Les terres de la région d'El Hamma sont réparties sur 16 collectivités (fractions): Ouled Khelifa, Ouled Amor, Ghiyalif, Adouani, Arouche, Kbbaiet, Zmazma, Ouled Agoub, et Ouderna, Ouled Ghrib, Jamain, Debdaba, Gasar, Ouled Saad, Zouida, Bougla. Chacune est dotée d'un conseil de gestion gérant les terres collectives. Les terres agricoles et nom agricoles se répartissent comme suit : (voir tableau n°2)La privatisation des terres collectives a causé des conflits entre les collectivités et les pouvoirs publics, entre les familles et entre les membres d'une même famille. Les conflits se déclenchent à chaque fois qu'il pleut, au moment des labours des terres collectives ayant reçu une bonne quantité d'eau de pluie. D'après notre enquête, plus de deux tiers ont moins de 5 ha réparties en plusieurs micro-parcelles.

Tableau N: 2: Situation foncière de la délégation d'El Hamma (en ha) (CRDA, 1992)

-Surface agricole non utile (jebels et chott)	39 290
-Surface agricole utile	
* Terres domaniales	2
* Terres privées en 1902 (parcours)	19 086
* Terres privées après 1902 (parcours)	
. attribuées avec titres	31 154
. attribuées sans titres	40 151
* Terres collectives (parcours)	102 177
Superficie totale (ha)	231 860

1.3 - Les productions agricoles

1.3.1- L'arboriculture en sec

Les plantations arboricoles couvrent une superficie de 2625 ha, plantés surtout en intercalaire. Elles sont réparties inégalement dans l'espace occupant les sols sablonneux qui valorisent mieux les réserves en eau du sol. En plus des plantations arboricoles derrière les jessour de l'Oued Soukra , Damous et H'dhifa au Nord, la région de Chenchou, de Henchir Edhib, Hinchir El groui, Hinchir Hajar, Oued Souinia, Hinchir Gardou jusqu'à Oued Sih Amara sont devenues des principales zones arboricoles en sec.

Tableau N3: Répartition des principales plantations arboricoles en sec (CRDA Gabès, 1991)

Espèces	Nombres de pieds		Total
	Jeunes	En production	
Oliviers	30 000	62 000	92 000
Amandiers	5 000	6 000	11 000
Figuiers	3 000	1 500	12 000
Autres	500	1 500	2 000
Total	35 500	75 000	111 000

L'olivieraie de la région d'El Hamma est jeune, 80% des oliviers sont plantés après les années 60. Elle est formée de deux variétés « Jbali et Zarrazi », bien adaptées au climat, elles donnent des rendements de 2 à 3 ouibas (1 ouiba pèse 32 Kg) soit 13 à 15 litres/arbre.

1.3.2- La céréaliculture

Les superficies emblavées dépendent des conditions climatiques. Elles varient chaque année en fonction des pluies d'automne (2362,5 ha ont été cultivé en 1991). Ces superficies se trouvent sur les terres d'alluvions, dans les zones d'épandage des petits oueds qui reçoivent les eaux de ruissellement, les bas-fonds, les dépressions et les talwegs.

L'extension de la céréaliculture s'est accéléré suite à la multiplication des tracteurs (71 tracteurs existent actuellement dans les 12 Imades). Les rendements moyens se situent entre 5 et 10 q/ha, ils sont en général destinés à l'autoconsommation familiale.

1.3.3- Les cultures oasiennes

L'occupation du sol est faite en trois étages, les palmiers dattiers, les arbres fruitiers et les cultures fourragères et légumières. Ces trois spéculations sont parfois associées à un élevage ovin et caprin. Chaque culture joue un rôle essentiel dans l'économie régionale.

1.3.3.1- Les arbres fruitiers

Elles sont cultivées en association avec les cultures fourragères et légumières. Les arbres fruitiers sont présents dans toutes les oasis d'El Hamma.

Tableau N4: Répartition des arbres fruitiers dans la délégation d'El Hamma Gabès selon leurs espèces (CRDA Gabès, 1991).

espèces	Nbre de pieds	% par rapport au total	Production en tonnes
Palmiers	150 000	59,00	138
Grenadiers	53 000	20,8	2000
Oliviers	23 000	9,0	700
Amandiers	4 000	1,5	20
Figuiers	6 000	2,3	60
Autres	18 000	7,4	500
Total	254 000	100	3418

Le grenadier connaît actuellement une importante évolution, il est cultivé en association avec les cultures légumières.

1.3.3.2 : Les cultures légumières

Les cultures légumières sont nombreuses. Parmi les plus importantes, on peut citer: le piment, l'oignon, le melon, le pastèque et la carotte. Les productions légumières sont faibles et ne permettent pas de satisfaire les besoins des Beni Zid. Les cultures sous-serres sont cultivées surtout par les promoteurs des projets géothermiques qui s'installent de plus en plus dans la région. Ils produisent des légumes primeurs destinés à l'exportation surtout vers l'Europe.

1.3.3 : Les cultures fourragères (la luzerne)

La culture de la luzerne occupe une superficie totale de 350 ha. Elle est de plus en plus cultivée dans les nouveaux périmètres irrigués. Le rendement moyen par hectare est de 20 tonnes/an. Vendue en petites bottes au souk, au coin de la rue. Elle assure une rentrée d'argent sur toute l'année. La luzerne sert comme complément aux ovins et caprins.

1.3.4 : L'élevage

Les troupeaux sont composés d'une association d'ovins de race barbarine à grosse queue (Nejdi) et de caprins de race locale noire. Les effectifs sont mal connus faute d'une information de type fiscale. Ils sont très fluctuants dans le temps. D'après le tableau N 5, les effectifs sont plus ou moins stables. Les effectifs caprins avaient plus que doublés avec une atténuation des fluctuations jadis liées aux sécheresses et ce depuis 1960 (BEN RHOUMA, 1988).

Tableau N5: Evolution des effectifs des animaux dans la délégation d'El Hamma (CRDA. Gabés, 1984 - 1992)

Effectifs des animaux			
Années	Ovins	Caprins	Dromadaires
1884	87 949	18 652	4 239
1956	63 400	20 100	4 002
1956	53 150	17 050	2 100
1975	57 700	19 700	1 000
1984	74 200	20 050	750
1989	62 800	28 000	420
1992	56 600	34 279	308

Les ovins sont beaucoup plus nombreux que les caprins, le cheptel camelin a fortement régressé depuis 1965. Le dromadaire n'est plus utilisé, comme avant, ni comme moyen de transport ni comme animal de trait pour le labour. Jusqu'à la fin des années 80 une partie de ce cheptel était vendue en Libye ou la demande en vaine cameline reste importante (ROMDHANE, 1995).

D'après notre enquête personnelle en 1992, les caprins représentent 37% de l'effectif total. L'effectif ovien est donc presque le double de celui des caprins.

L'effectif des troupeaux enquêtés chez les 112 agriculteurs s'élève à 3152 têtes ovines et caprines. La taille moyenne de troupeaux est donc de 32 têtes. Cette taille varie de 3 à 300 têtes. Les troupeaux de moins de 20 têtes sont fréquents, ils pâturent les abords des habitations.

II Analyse socio-économique des systèmes de production:

Les données recueillies par l'enquête socio-économique de 112 agriculteurs, et l'analyse composantes principales (ACP) ont permis de déterminer 5 groupes différents qui correspondent chacun à un système de production. Cette analyse a permis de relever la diversité d'une façon très nette surtout au niveau des revenus.

2.1 : Système 1 : Système des grands éleveurs »

Ce système se compose de 14 individus, soit 12,5% de l'effectif total. Il est le groupe d'éleveurs utilisant le plus des parcours collectifs et pratiquent un élevage extensif. En effet, c'est au niveau de ce groupe d'exploitations que l'on enregistre les effectifs d'animaux les plus importants. En moyenne 150 têtes par exploitants sont conduites souvent en extensif. Les éleveurs optent pour l'emploi d'un berger salarié. Les individus enquêtés possèdent des grandes superficies, soit en moyenne 46 ha de terres collectives, 24 ha de terres privées dont 4 ha en irrigué. Les agriculteurs souvent âgés (50 ans en moyenne) pratiquent l'arboriculture en sec et en irrigué.

Le revenu net moyen par exploitant est de 5812 dinars (soit 447 dinars/personne/an). C'est le groupe des plus favorisés. Ces exploitants refusent la privatisation des terres collectives.

2.2 : Système 2 : Système des « grands oasisiens »

Ce système regroupe 11 individus ce qui représente 9,8 % de l'échantillon, il représente les oasisiens arboriculteurs.

Le système de production est caractérisé par le maintien de la famille patriarcale. Les chefs d'exploitations consacrent la majorité de leurs temps aux travaux agricoles.

Les exploitations sont souvent acquises par héritage, la location est peu fréquente et ne représente que 5% des cas.

Les exploitants possédant des grandes superficies de luzerne, 80% des productions légumières sous-abris sont destinées à la commercialisation.

Le troupeau moyen est constitué de 32 têtes ovines et caprines. Ce cheptel est conduit par les bergers salariés.

Ce système est marqué par l'importance des revenus provenant des productions végétales et des activités extra-agricoles. Le revenu global est estimé à 4891 dinars (soit 407 dinars/personne/an).

2.3- Système 3 : Système des « petits éleveurs oasisiens »

Ce système est constitué de 46 individus, il regroupe près de 60% des exploitants de la zone et concerne la couche la plus défavorisée des producteurs. La propriété est trop petite et ne dépasse pas 0,5 ha . Les productions agricoles destinées à l'autoconsommation familiale. Le revenu moyen par exploitant est de 1110 dinars (soit 185 dinars/personne et par an). La part des revenus extra-agricoles est très importante, 17% provient essentiellement des chantiers agricoles de l'Etat.

Les exploitations se trouvent de plus en plus en difficulté (manque d'eau, problème d'hydromorphies, etc...); elles sont en état d'abandon et de disparition.

2.4 Système 4 : Système des « éleveurs moyens »

Il ne comporte que 9 individus, c'est à dire 8% de l'échantillon. Ce système est marqué par le vieillissement des chefs d'exploitations. Ces derniers consacrent la totalité de leurs temps aux travaux agricoles. La propriété est constituée de terrain de labour et de parcours, répartie sur plusieurs endroits.

Le troupeau moyen par exploitant est de 35 têtes ovines et caprines. Les chèvres sont gardées près des maisons pour valoriser les sous-produits agricoles.

L'arboriculture en sec est entrain de prendre de l'importance. Les exploitants de ce groupe assurent un revenu global sensiblement important, estimé à 3865 dinars, soit 338 dinars/personne/an.

Malgré qu'il garde les caractéristiques de l'ancienne société pastorale et que l'élevage constitue la principale source économique, les agriculteurs commencent à diversifier leurs sources de revenus par la pratique de la pluri-activité.

2.5 Système 5 : Système des Ç oasisiens moyens »

Ce système est constitué de 32 individus soit 28,5% de l'échantillon. Il regroupe les exploitants des nouveaux périmètres irrigués. Plusieurs d'entre-eux ont déclaré avoir émigré en Europe et surtout en Libye. Ce système est marqué par une main d'oeuvre familiale importante.

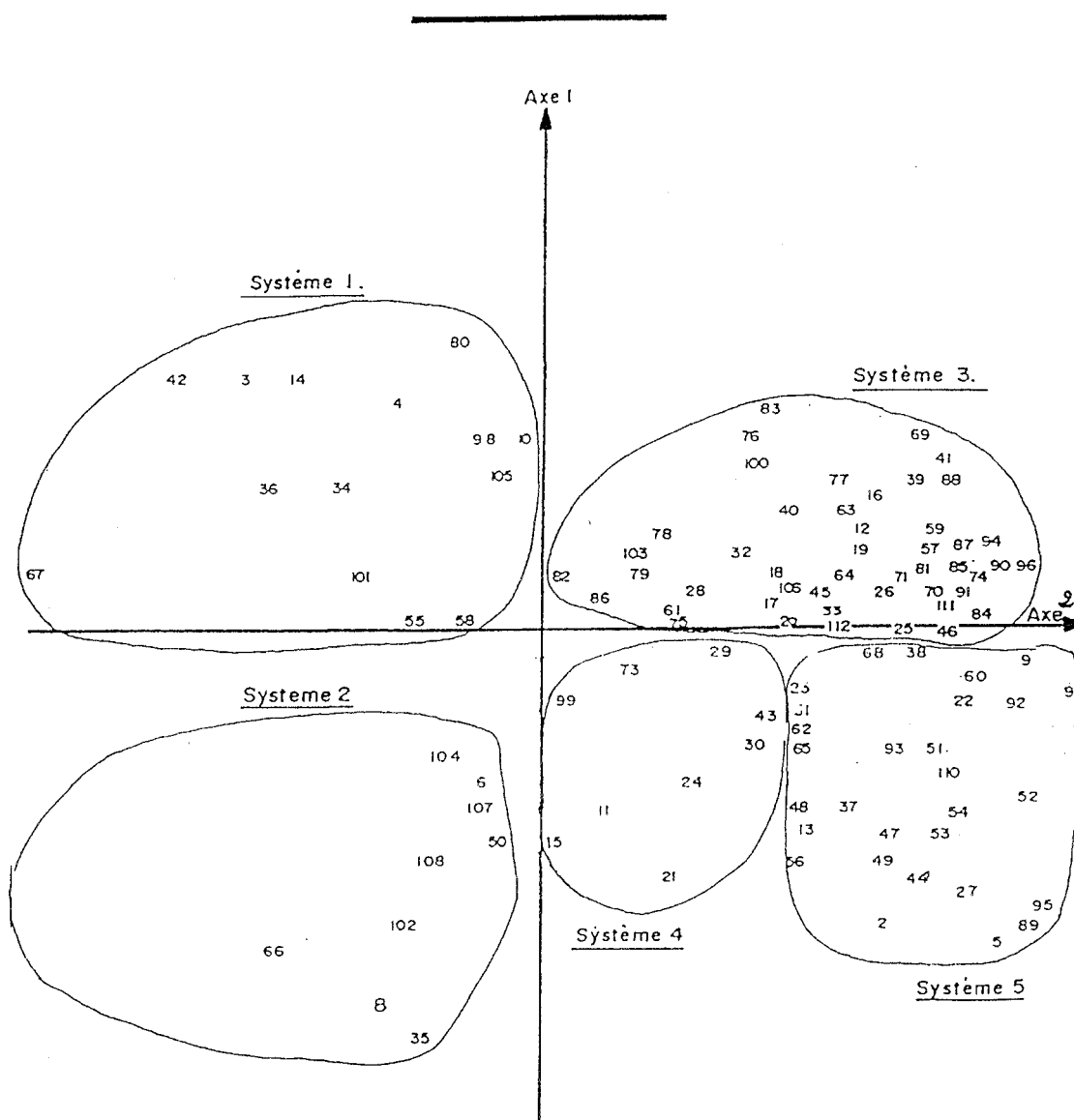
L'exploitation agricole est constituée de 2 à 3 parcelles cultivées souvent en luzerne et en arbres fruitiers. Une bonne partie de la production des dattes est destinée à la vente qui se fait en général sur place surtout pour la variété Ftimi très appréciée par la population locale. Le revenu familial est de 1913 dinars par exploitant (soit 382 dinars/personne/an). Ce revenu est marqué par l'importance des revenus extérieurs (25%). Les revenus extra-agricoles sont souvent investis dans l'agriculture (achat du matériels, création et équipement des puits de surface etc...)Conclusion

Au terme de cette identification et analyse des différents systèmes de production nous pouvons dire qu'au delà des spécificités et des particularités qui peuvent exister entre les exploitations en général, les systèmes sont très fragiles. ils sont caractérisés par:

- la diversification des activités économiques et des systèmes de production,
- le travail agricole est assuré surtout par la main d'oeuvre familiale avec une importante contribution du chef d'exploitation, alors que la main d'oeuvre salariée reste modeste, elle augmente lorsque le système est dominé par l'activité élevage,
- le système d'élevage dans sa forme pastorale traditionnelle est révolu et le concept de communauté pastorale avec son espace bien identifié n'est plus à l'ordre du jour; nous assistons à la fin de l'ancienne société pastorale avec émergence d'éleveurs et des groupes d'éleveurs ayant des stratégies individuelles très particulières,
- les anciennes oasis présentent plusieurs handicaps au niveau de l'émiettement, de la parcellisation de la propriété, du manque et de la mauvaise gestion de l'eau d'irrigation, de la surexploitation des nappes phréatiques par des nombreux puits de surface,

- l'occupation du sol est dominée par les plantations arboricoles (palmiers 20%, oliviers 20%); les cultures légumières occupent des faibles superficies,
- la taille des exploitations est variable; généralement de l'ordre de 0,30 à 1 ha pour les anciennes oasis et de 1 à 5 ha en moyenne pour les nouveaux périmètres irrigués, alors que la superficie moyenne en sec, peut dépasser 15 ha dans certains cas,

**IDENTIFICATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION ET PROJECTION DES
INDIVIDUS SUIVANT L'AXE 1 ET 2.**



Le revenu agricole net est en moyenne de 3878 dinars par exploitant. Il est composé de 44% de l'élevage; 42 % des productions végétales et 14% des activités non agricoles,

En fin les exploitations qui disposent d'un important capital foncier, arboricole et animal sont actuellement en mesure de résister aux aléas climatiques et de reproduire dans le cadre du système de production où l'élevage et les productions végétales surtout arboricoles, restent dominantes (systèmes 1 et 2) . Les exploitations qui ne disposent pas d'un important capital foncier pratique les deux principales composantes, élevage et production végétale à égalité. Elle sont marginalisées et leurs propriétaires sont souvent à la recherche d'un emploi à l'extérieur de l'exploitation. Toutes ces remarques nous ont permis de connaître au mieux les problèmes et les données sociales et économiques de l'espace de la délégation d'EL Hamma. Ces problèmes et ces données doivent être prises en compte au niveau de la planification des programmes de développement.

III-Les programmes du développement rural dans la délégation D'EL HAMMA :

Introduction:

Les programmes du développement rural matérialisent bien la nouvelle politique économique et sociale pour l'espace rural Tunisien. Cette nouvelle politique se concrétise par la mise en place d'un programme national appelé Programme de Développement Rural (P.D.R) qui comporte un programme régional pour chaque gouvernorat du pays. Les projets Oued Nour- Ben Ghilouf (1985 à 1991), le projet de développement intégré de la zone d'El Bhaier-Bechima (1985 à 1989) et d'autres petites actions de développement rural font partie du P.D.R

Le sixième et septième plans de développement économique et social ont été essentiellement marqués par le renforcement des programmes régionaux pour l'aide et le développement des régions les plus défavorisées du pays. Ce choix national de développement rural et régional doit permettre à toutes les régions de la Tunisie d'avoir les mêmes opportunités pour l'exploitation et la valorisation optimale de leurs ressources et potentialités et contribuer ainsi à l'expansion économique de l'ensemble du pays. Les liquidités investies sont de l'ordre de 20.278.065 Dinars Tunisiens (Tableau N°6)

Tableau N° 6: Liquidités investies par l'Etat de 1974 à 1995

Noms des Projets	Années d'exécution	Montants investis en D.T
-Amélioration pastorale Oglet Marteba	1994 - 1986	3.093448
-Programmes de développement rural		
* P.D.R.I (7ème et 8ème plan)	1987 - 96	215.990
*Oued Nour Ben Ghilouf	1985 - >	943.314
*El Bhaier Bechima	1989 - >	3.500.000
-Géothermie	1986 - 1995	6.915.313
-Sauvegarde des Oasis	1976 - 1991	2.000.000
Total		20.278.065

La répartition des crédits entre les différentes rubriques des programmes de P.D.R montre la faiblesse de la part des crédits qui ont été alloués au secteur de la création et de la consolidation des emplois dans la région. Les promoteurs des projets et les agriculteurs qui reçoivent quelques têtes de bétail ainsi que les artisans qui obtiennent quelques outils de travail finissent la plupart du temps par vendre leurs bêtes ou matériels pour pouvoir vivre et émigrer par la suite à la recherche du travail. Une grande partie des capitaux est utilisée par des projets qui n'ont aucun impact sérieux sur la situation de l'emploi dans la région et surtout dans le monde rural.

D'après ce tableau on remarque que les fonds alloués à la formation professionnelle agricole sont faibles et ne représentent que 3,7% du total de crédits.

Tableau N7: Répartition des crédits consommés par l'emploi et la formation professionnelle par branche d'activité dans la délégation d'El Hamma 1992.

	formation professionnelle				emplois			
	Bénéficiaires		Crédits		Bénéficiaires		Crédits	
	Nombre	%	Somme	%	Nombre	%	Somme	%
Artisanat	360	76.5	75 802	85.1	186	74.1	28 000	35.9
Petits métiers	60	12.8	10 000	11.2	25	10	40 000	51.3
Agriculture	50	10.7	3 300	3.7	-	-	-	-
Métiers divers	-	-	-	-	40	15.9	10 000	12.8
Pêche	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	470	100	89 102	100	251	100	78 000	100

Ce tableau nous montre que la formation des jeunes en agriculture est faible. Ces jeunes ont été formés dans le cadre du P.D.R dans les deux centres de Zerkine, Gabès.

3.1 Le projet Oued Nour - Ben Ghilouf:

Ce projet a démarré en 1985, dans le cadre du P.D.R.I, il a permis l'introduction des vaches laitières (pie noire), et de cultures sous serres. le P.D.R.I a accordé des subventions et des crédits avec des facilités de remboursement, pour inciter certains fellahs à acquérir des vaches laitières importées de l'étranger et pour équiper leurs oasis en machines agricoles (tracteurs, pompes) et en tunnels plastiques, éléments de serres mais aussi pour plusieurs actions de conservation des eaux et sols, plantations arboricoles etc... les investissements sont de l'ordre de 943.314 dinars Tunisiens.

Les différentes actions du programme P.D.R.I qui ont été menées dans le but d'améliorer les conditions de vie des populations rurales n'ont fait qu'aggraver la situation. Lors de nos visites des Oasis Ben Ghilouf et Oued Nour, nous avons remarqué que les serres sont en majorité, abandonnées par manque de technicité. Les vaches laitières sont en majorité vendues et il ne reste qu'une vingtaine possédée par cinq exploitants qui n'arrivent pas à rembourser leurs dettes.

Les actions entreprises dans le cadre du programme P.D.R.I, dont le but essentiel est de permettre une transformation du genre de vie des Beni-Zid, et d'entraîner leur adhésion à un modèle de consommation et de production de plus en plus marqué par le modèle occidental ont échouées et n'ont pas répondu aux besoins des populations. Elles n'ont fait que renforcer l'exode rural, l'épuisement et la mauvaise gestion de l'eau dans les différentes oasis suite aux aides pour la création des puits de surface.

3.2 Le projet de développement intégré de la zone d'El Bhaier - Bechima:

Depuis l'indépendance et malgré les importants projets réalisés dans le Sud Tunisien, certaines régions demeurent sous développées, ce qui nécessite d'y faire un effort supplémentaire en actions de développement adaptées à leurs possibilités et aux problèmes observés dans le monde rural (exemple: l'ignorance, l'exode, l'hygiène et la forte mortalité).

C'est dans cet état d'esprit, que l'Office de Développement du Sud (O.D.S, 1987) s'est lancé, dès sa création, dans la recherche d'une approche intégrée du développement consistant à faire contribuer tous les secteurs impliqués dans le processus de la lutte pour le progrès.

L'objectif du projet est de promouvoir le développement économique et social de la région d'El Hamma (constructions des écoles, des dispensaires et d'autres infrastructures). son but est de rechercher la voie de développement et de progrès les mieux adaptées aux réalités socio- économiques de la zone d'El Bhaier, Béchima (65.000 ha) et des populations concernées (6348 personnes).

Ce projet est financé à 95% par l'Etat et 5% par les promoteurs, son coût total est de 3 500 000 D.T. Démarré en 1989, le projet intégré d'El Bhaier-Bechima doit permettre la création et l'équipement des puits de surface, la plantation des nombreuses espèces arboricoles, la protection et la conservation des eaux et sols, la plantation des arbustes fourragers, la construction d'un dispensaire et de plusieurs autres actions mentionnées dans le tableau suivant.

La stratégie du développement que le projet préconise s'assigne deux finalités:

- Créer une structure de production économiquement viable (augmentation et diversification de la production, création d'emplois permanents, amélioration de revenu et fixation de la population) à partir d'une valorisation rationnelle des potentialités,
- Entreprendre un ensemble d'actions d'équipements collectifs et d'infrastructures de base constituant un apport pour l'activité économique.

3.3 La géothermie

L'organisation nouvelle de l'espace économique régional a nécessité la mise en place de grands projets privés très rentables exploitant leurs productions. Ces projets, installés aux alentours des oasis et près des forages s'inscrivent dans le cadre de la stratégie nationale et internationale en matière des ressources hydrauliques et des avantages comparatifs. L'Etat, promoteur de cette stratégie a été amené à faciliter et à mobiliser beaucoup d'argent pour l'installation de plusieurs projets "géothermiques."

Les projets de chauffage géothermique de serres sont limitrophes des oasis existantes. Ils exploitent au maximum les ressources hydriques chaudes et se limitent presque exclusivement à la production sous serres.

Dans le cadre du partenariat Tuniso-Etranger, plusieurs projets ont été installés dans la région d'El Hamma.

D'après notre enquête personnelle auprès des différents services: Agence de promotion des Investissements Agricoles (APIA), le Commissariat Régional de Développement Agricole

(CRDA), la Banque Nationale Agricole (BNA) et les projets privés géothermiques), la totalité des investissements provient des différentes banques (Banque Nationale de Tunisie et quatre banques étrangères). Les superficies exploitées en 1994 sont de l'ordre de 166 ha et ont consommé 6676563 DT (APIA 1992).

D'après les rapports officiels (CRDA Gabès), les exportations ont été évaluées à 450 T de tomate et melon durant l'année 1991-1992. Elles représentent une entrée de devises de 800.000 dinars.

Les projets géothermiques emploient actuellement 6 ingénieurs adjoints, 5 techniciens, 10 ouvriers spécialisés, et environ 50 ouvriers permanents et 150 ouvriers temporaires.

Les jeunes attirés par un salaire fixe préfèrent travailler dans ces projets, ce qui a accentué l'abandon dans les oasis de la délégation d'El Hamma. Ces jeunes, en majorité (80% des filles âgées de 15 à 20 ans) viennent d'El Hamma, et surtout de Ghannouch-Gabès, travaillent du matin au soir et sont payés parfois à la journée et ne bénéficient pas de sécurité sociale.

La stratégie nationale en matière de développement des projets de géothermie se propose de réaliser le maximum de superficies. A partir de 1992, le 8ème plan prévoit d'installer 200 ha de plus dans la délégation d'El Hamma. L'investissement dans le domaine de la géothermie occupe une place importante dans l'investissement agricole.

Conclusion

Le développement rural a toujours constitué une préoccupation majeure dans les différentes stratégies de développement qu'a connu le pays, mais les résultats matériels obtenus par les projets sont décevants. Chacun de ces projets a été marqué par des programmes et des mesures spécifiques arrêtés en fonction des impératifs de la période en question. Ils ont été aussi marqué par l'instauration des chantiers de lutte contre le chômage. Cette approche, si elle a permis de créer des emplois et de réaliser certains grands travaux, surtout en matière de reboisement et de conservation des eaux et sols, s'est avérée insuffisante pour répondre aux besoins croissants des régions, notamment en matière d'infrastructure et d'amélioration des conditions de vie.

Les projets de développement rural dans la délégation d'El Hamma ont coûté beaucoup d'argent (le coût exacte est difficile à vérifier environ 10 millions de dinars tunisiens). Les objectifs fixés sont rarement atteints. La totalité des serres implantées et des puits aménagés sont aujourd'hui à l'abandon total ou partiel, de même les réseaux d'irrigation, les pistes et routes. Face à ceci, la situation de marginalité dans laquelle se trouvent les oasis et les parcours de la délégation d'El Hamma n'a pas changé et de ce fait, aucune transformation profonde de la situation du secteur en irrigué et en sec n'a eu lieu.

Cependant la réalisation de ces projets de développement rural a permis de prendre conscience d'une part de la fragilité des actions de développement du PDR et de l'inadaptation de ces programmes, notamment au niveau du secteur agricole. Ces actions n'ont pas permis de structurer l'agriculture, de subsistance, pour en faire une agriculture capable de relever les défis de l'économie de marché.

Ces projets sociaux ont bouleversé la mentalité semi-nomade des Beni-Zid, mais qui leur ont apporté un certain confort à court terme. Ils ont attiré la main d'oeuvre agricole pour les abandonner ensuite à son propre sort.

Les solutions "modernistes" ont en le tort de chercher à transformer une réalité économique et sociale très complexe sur la seule base des modèles théoriques caractérisés par une approche technocratique au problème de développement excluant toute intervention du paysan dans ce processus et par une consommation élevée de capitaux et de techniques coûteuses. Cette démarche est de nature à libérer de plus en plus de main d'oeuvre qui doit alors pouvoir être absorbée par les entreprises industrielles (le complexe industriel et la cimenterie de Gabès), les services installés en milieu urbain, les grands projets de géothermie réalisés dans la délégation d'El Hamma.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abaab A. (1986): Rénovation de l'espace oasien et planification régionale en Tunisie. Colloque international sur les perspectives de l'agriculture sud saharienne . Adrar, 23-26 février 1986, 92 p.
- Abaab A. ; Nasr N. (1988): Limites de la complémentarité agriculture-élevage en milieu aride, in actes de l'état national sur les acquis de l'expérience Tunisienne en matière d'aménagement pastoral, 15p. I.R.A Médenine - Tunisie.
- Apia (1992) : Rapport d'évaluation.
- Ben Rhouma H. (1988) : L'amélioration du cheptel national, in actes de l'atelier I.R.A, 11p.
- Bernard A. (1924): Enquête sur l'habitat rural des indigènes de la Tunisie. Bardier et Cie, Tunis, 1924, 120 p.
- Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA): Rapport d'activités Annuelles, 1980,1985,1992.
- Grenier P. (1952): Les Beni-Zid et leur genre de vie . Mémoire CHEAM, 11p.
- Institut National de la Statistique (INS, 1989): Enquête population-emploi. Recensement général de la population et de l'habitat.
- Gouvernorat de Gabès (1992) : programme de développement intégré.
- Lamry M. (1988): Crise du pastoralisme et projets de développement de l'élevage en milieu steppique dans le Sud - Est Tunisien. master of Siences.IAM Montpellier III, 375p.
- Mekrazi A.F. (1975): Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Gabès Nord. thèse de 3ème cycle . Bordeaux I, 200p.
- Omrani S. (1982): Le territoire de Beni-Zid (Sud Tunisien), mode de production et organisation de l'espace en zone aride. thèse de doctorat 3ème cycle. Montpellier III, 375p.
- O.D.S (1987): présentation et stratégie de Développement, Projet El Bhaier-Bechima.
- Romdhane A. (1995): Evaluation des systèmes de production et dynamiques locales dans la délégation d'El Hama Gabès, Sud Tunisien. Thèse de doctorat. Université de Nanterre, Paris X, 365p.
- Sghaier M. (1984) : Identification et analyse des systèmes de production agricole dans les oasis de Nefzaoua . Mémoire de fin d'études de cycle de spécification de l'INAT, Tunisie , 144p + Annexes.

LES APPROCHES PARTICIPATIVES POUR L'AMELIORATION DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE CONSERVATION, DE GESTION ET D'EXPLOITATION DES EAUX ET DES SOLS EN ZONES ARIDES «JESSOUR», «MAJELS» et «FSAGUIS»

NASR N., SGHAIER M. et CHAHBANI B.
Institut des Régions Arides, 4119 Médenine - Tunisie

RESUME

Les techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols, utilisées depuis des millénaires par les populations des régions montagneuses du centre et du sud de la Tunisie, ont permis le développement d'une agriculture basée sur la maîtrise des eaux de ruissellement. Cette petite hydraulique : « jesser », « tabia », « mgoud », « hamala », « majel » et « fesguia » doit évoluer pour répondre aux nouvelles conditions socio-économiques du monde rural. Dans le présent travail, nous présentons un essai d'innovation des techniques de conservation et de gestion des eaux dans les jessour avec la participation des acteurs.

Mots Clés: Aridoculture, jessour, gestion des ressources en eau, approche participative.

SUMMARY

The water and soil conservation techniques in southern Tunisia mountains, are mean agriculture activity in dry farming. The traditional techniques (Fesguia and Jessours) have many problems witch reduce the efficiency and the optimal use of the harvested water.

Those problems added to the new socio-economic conditions make the system of jessour and fesguia not sustainable.

Therefore, innovated techniques have been tested and introduced in field (esclension) following a specific participatory approach researchers, development services and peasants.

Key Words : jessour, water harvesting, participatory approach, water harvesting efficiency.

1. INTRODUCTION

Les besoins en eau en Tunisie à l'horizon l'an 2000 sont estimés à environ 3000 millions de m³/an contre seulement 1865 millions de m³/an en 1980 (Ministère de l'Economie Nationale, 1971). Ces besoins atteindraient les 4882 millions de m³/an en l'an 2030 dépassant ainsi les ressources potentielles conventionnelles du pays.

Cependant, malgré les faibles disponibilités en eau dans les pays, d'importantes quantités d'eau de ruissellement, environ 500 millions de m³/an sont perdus dans les « sebkhas » et dans la mer (MISSAOUI, 1994). En plus des pertes des eaux de ruissellement, l'érosion menace environ 3 millions d'ha (18,3 % du territoire nationale) dont 1,5 million d'ha (9,15 % du territoire national) gravement affectés (MISSAOUI, 1994).

Conscient de la gravité de la situation, la Tunisie a, en plus des réalisations antérieures, entrepris depuis 1990 une stratégie décennale de conservation des eaux et des sols (1990-2000) pour un budget d'environ 562 millions D.T (1D.T = 1 \$ U.S). Les principales actions de cette stratégie qui s'appuie surtout sur la participativité des bénéficiaires, sont (Direction de la Conservation des Eaux et des Sols, 1993) :

- Aménagement de 400 000 ha de terres à vocation céréalière par les techniques douces,
- Construction de 1 000 lacs collinaires dans le nord et le centre du pays,
- Aménagement de 400 000 ouvrages d'épandage des eaux de crue et de recharge de la nappe,
- Aménagement de 600 000 ha par les techniques classiques de la conservation des eaux et des sols,
- Sauvegarde de 1 million d'ha de travaux de conservation des eaux et des sols déjà réalisés.

Dans le centre et le sud du pays, différentes techniques traditionnelles et modernes sont utilisées pour la collecte des eaux de ruissellement et la conservations des sol. Les techniques traditionnelles incluent les « Mgouds », les « Jessours » et les « Fseguis » et « Majels ». Les techniques modernes comprennent les seuils en pierres sèches, les gradins et banquettes.

Toutefois, ces techniques ainsi que les systèmes de culture pratiquées sont restés traditionnelles, ce qui se traduit souvent par des limites techniques et économiques des systèmes de production agricole basée sur la collecte des eaux pluviales (NASR, 1993).

Pour assurer la durabilité des systèmes de production agricole basée sur la maîtrise des eaux de ruissellement, il est impératif d'innover au niveau des techniques de collecte, d'exploitation et de gestion des eaux pluviales. Des innovations doivent être apportées aux techniques traditionnelles et modernes et aux systèmes de culture et ce pour diversifier et augmenter les productions et les revenus des agriculteurs des zones arides.

Dans le présent document, il est envisagé de présenter les résultats préliminaires d'un programme de recherche-développement basé sur l'approche participative pour développer le systèmes de production « jessour » en améliorant les techniques de conservation et de gestion des eaux et des sols. Ce programme est mené (les actions de suivi sont en cours) dans un secteur (Gsar Jouamaa) de la chaîne des Jbels Matmata (sud-est de la Tunisie) par une équipe pluridisciplinaire de l'Institut des Régions Arides (IRA), en collaboration avec l'Arrondissement de la Conservation des Eaux et des Sols de Médenine et l'ICARDA. Ce programme a pour principaux objectifs d'optimiser et de rationaliser la gestion et l'exploitation des eaux récoltées dans les « jessours » et les « fseguis » d'une part et de mettre en place une démarche, basée sur l'approche participative d'autre part.

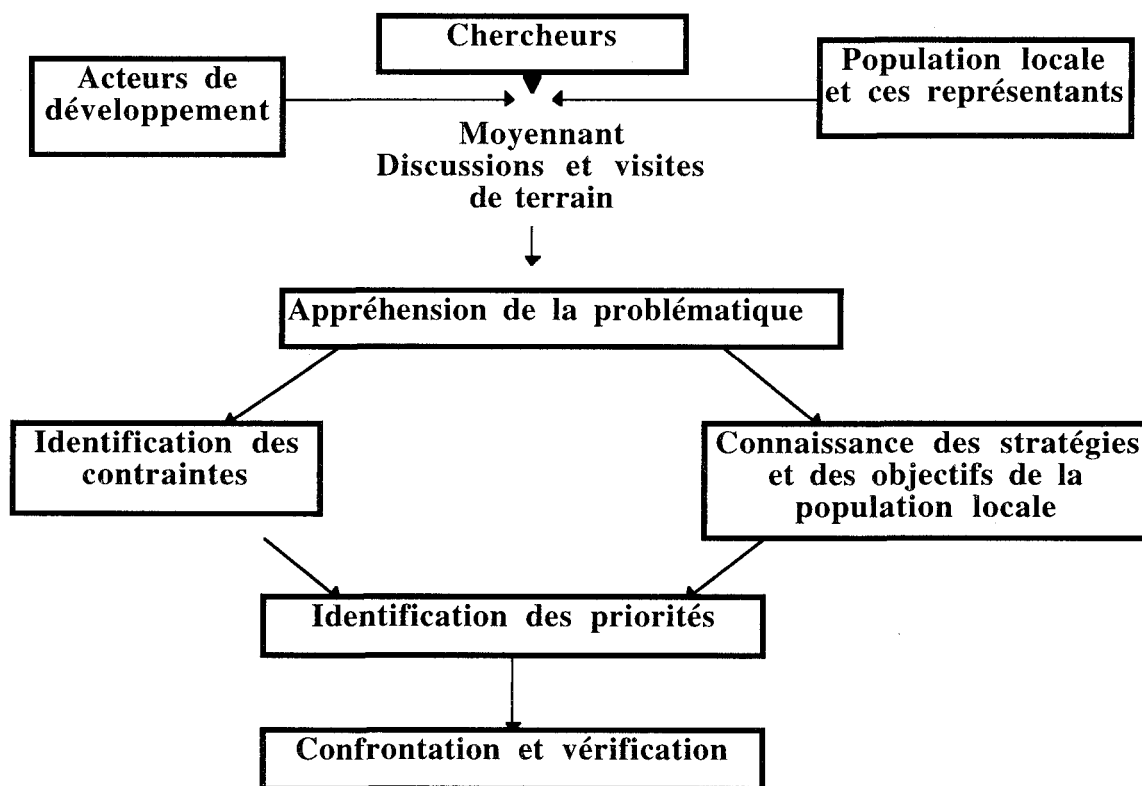
2- Méthodologie

2.1- Approche méthodologique

L'approche adoptée dans ce programme de recherche-développement est à la fois interdisciplinaire, dans la mesure où elle associe des géographes (géographie humaine et géographie physique) des agronomes et des agro-économistes et participative puisqu'elle associe les acteurs locaux dans les différentes étapes du processus : de l'identification des problèmes et des contraintes, jusqu'à la proposition des solutions et à leur application.

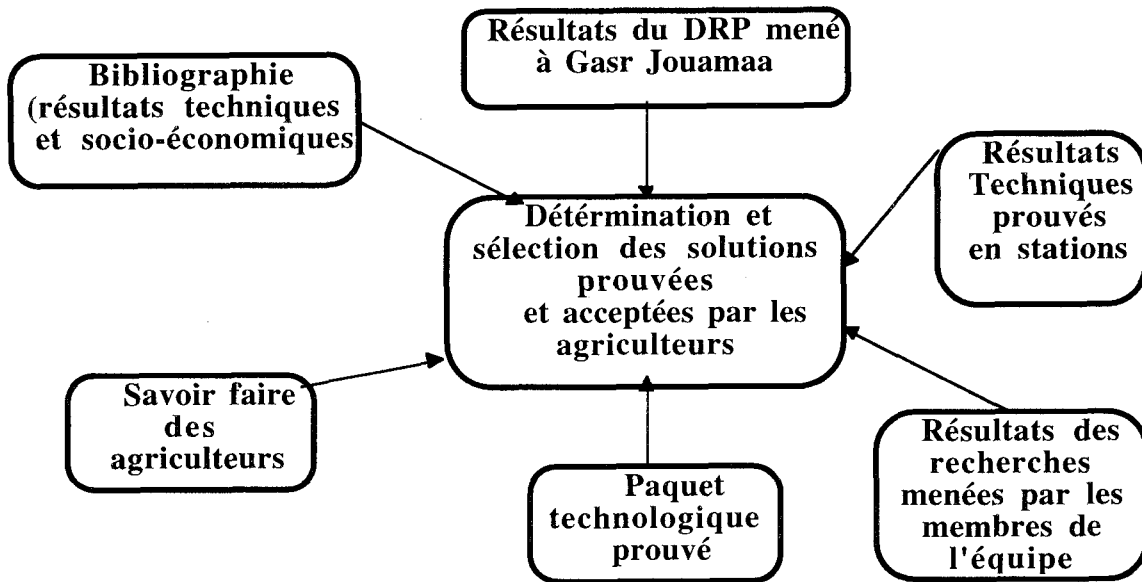
L'approche méthodologique adoptée a quatre principales séquences.

La première séquence, illustrée par la figure 1, consiste en un Diagnostic Rapide et Participatif (DRP) qui vise d'une part l'appréhension de la problématique et l'identification des problèmes et des contraintes et d'autre part la connaissance des stratégies et des objectifs de la population locale pour arrêter les priorités. Déterminer et sélectionner les solutions techniques acceptés par la population locale (fig. 2).



SGHAIER, NASR et CHAHBANI (1996)

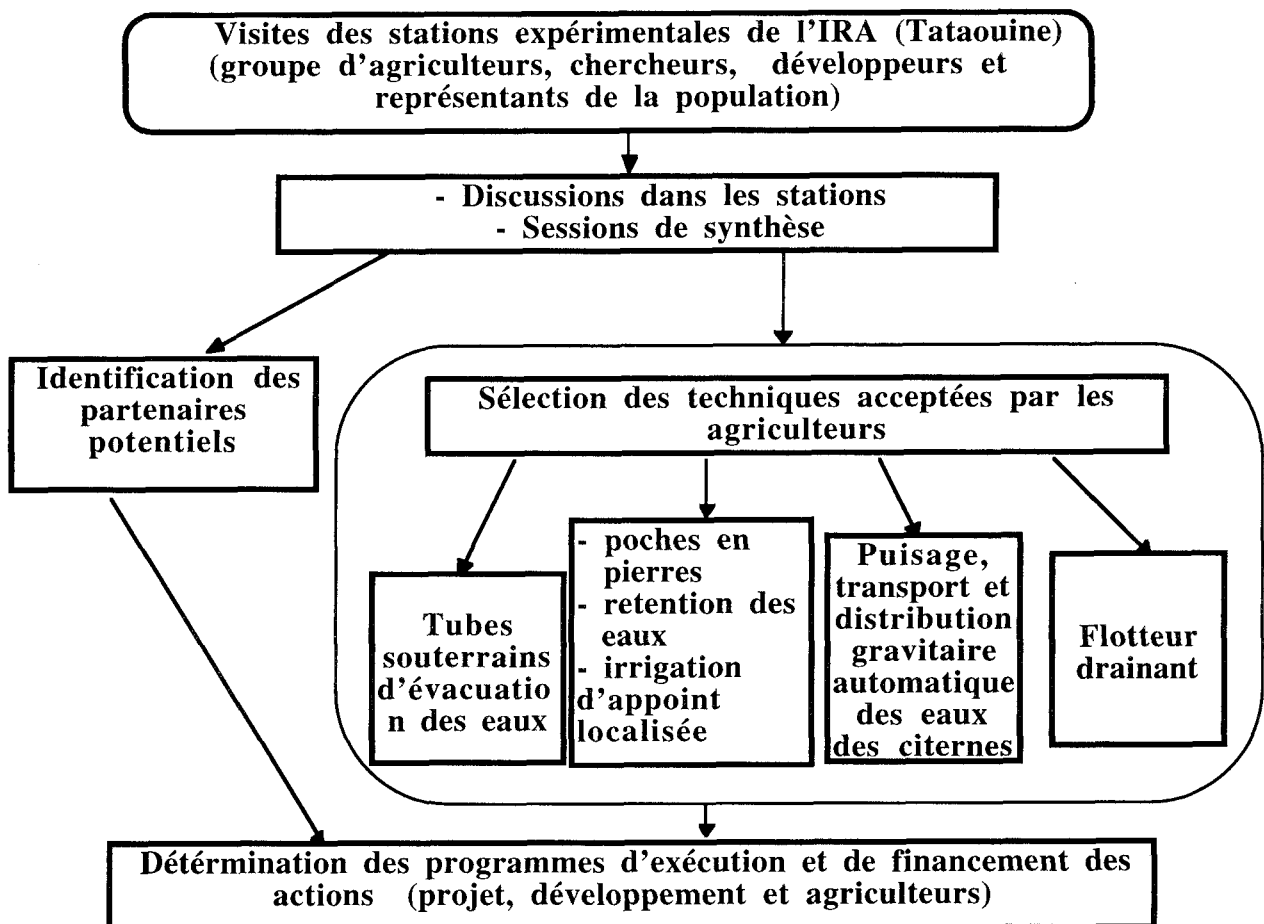
Figure 1 : Diagnostic Rapide et Participatif (DRP)



SGHAIER, NASR et CHAHBANI (1996)

Figure 2 : Détermination et sélection des solutions acceptées par les agriculteurs

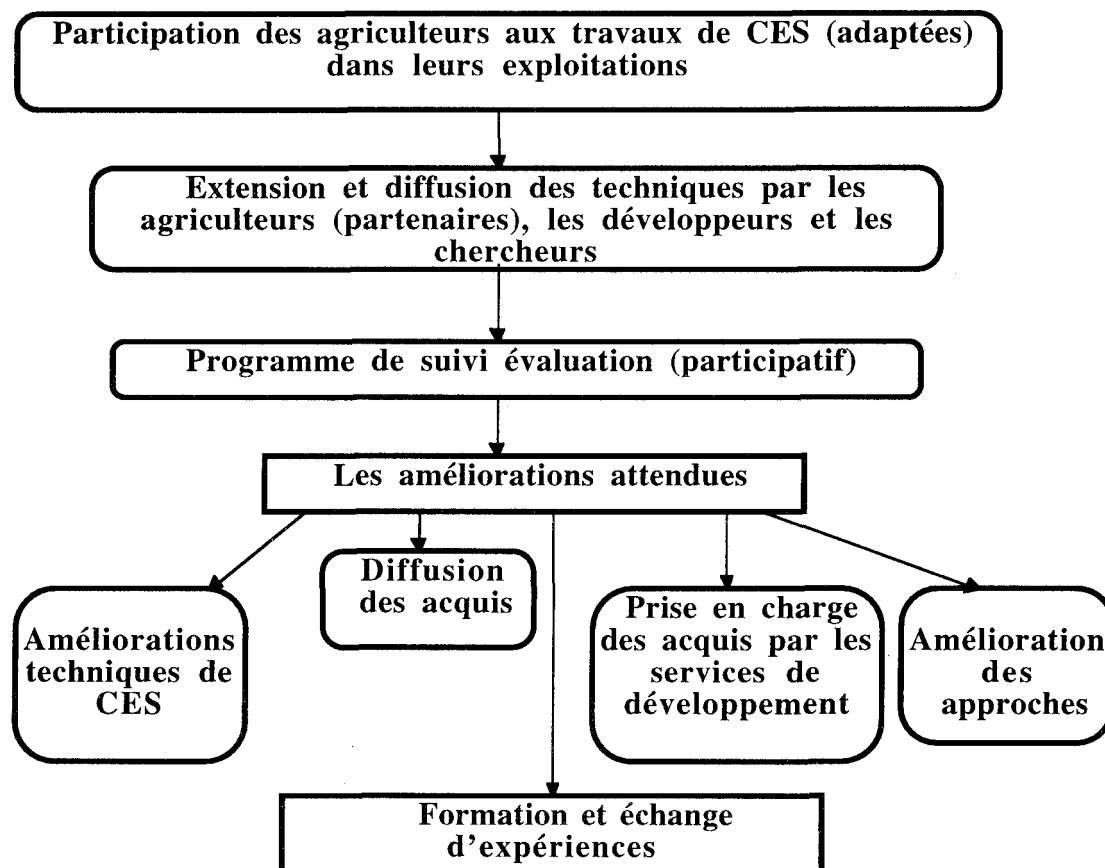
La deuxième séquence consiste à l'exécution des actions avec un groupe ciblé d'exploitants avec la collaboration des services techniques. Trois familles de solutions techniques ont été acceptées (tubes souterrains, poches en pierres et techniques d'irrigation localisées d'évacuation des eaux, techniques de puisage de transport et de distribution des eaux des citernes flotteurs drainant) (fig. 3).



SGHAIER, NASR et CHAHBANI (1996)

Figure 3 : Approche participative pour l'amélioration des techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols.

La dernière séquence consiste à la mise en place d'un système de suivi-évaluation participatif pour améliorer les techniques et la démarche elle-même et assurer la vulgarisation et la diffusion des résultats (fig. 4).



SGHAIER, NASR et CHAHBANI (1996)

Figure 4 : Exécution des actions participatives et évaluation

2.2- Déroulement de la méthodologie :

La réalisation de ce programme s'est basée surtout sur la valorisation des travaux menés dans la région (CHAHBANI, 1984, 1990, 1996 ; BOUBAKRI, 1990 ; NASR, 1993 ; IRA-ICARDA, 1993 ; LABRAS, 1996, etc.). La synthèse des résultats des différents travaux menés dans la région a permis à l'équipe d'avoir une bonne connaissance du contexte physique, technique et socio-économique de la zone d'étude.

Plusieurs séances de travail dans le bureau et sur le terrain ont permis aux chercheurs de discuter les résultats antérieurs des travaux de recherche menés dans la région et la politique de l'Etat en matière de développement dans les zones arides et montagneuses. Ces réunions et tournées souvent accompagnées par des techniciens des services agricoles ont permis à l'équipe du projet de fixer l'approche et la méthodologie.

Sur le terrain d'étude (Gasr Jouamaa), des réunions entre agriculteurs, chercheurs et techniciens ont permis de discuter la problématique technique et socio-économique des systèmes «jessours». L'emploi de moyens de visualisation de l'information (tableau, craie, crayons papier, etc.) et de techniques de collecte de l'information (cartes, diagrammes, calendriers, etc.) a permis à l'équipe de faire participer le maximum d'agriculteurs aux discussions qui étaient souvent très animées. Les techniques de visualisation employées dans les réunions ont permis, à chaque fois, de discuter les résultats entre chercheurs, développeurs, représentants du syndicat des agriculteurs et agriculteurs. Des enquêtes par questionnaire ont permis d'analyser les systèmes de production basés sur les «jessours» au plan technique et socio-économique (LABRAS, 1996).

Des visites aux champs accompagnées par des techniciens ont permis de discuter avec les agriculteurs le système de culture dans les «jessour» et les limites des techniques traditionnelles de conservation et d'exploitation des eaux et des sols.

Au cours des différentes réunions de groupe et visites des «jessours» des discussions ont porté sur l'existence d'une station expérimentale de l'IRA spécialisée dans la conservation des eaux et des sols. Cette

station expérimentale est située à El-Mesreb, dans le Gouvernorat de Tataouine à environ 90 km de Gasr Jouamaa).

Pour montrer aux techniciens et aux agriculteurs de Gasr Jouamaa partenaires du programme recherche-développement les résultats de recherche en matière de conservation des eaux et des sols, une excursion à la station expérimentale de l'IRA à El-Mesreb a été organisée. Une vingtaine d'agriculteurs ont participé à cette excursion qui a été organisée par les moyens de l'IRA. A El-Mesreb, les agriculteurs ont vu et discuter avec les chercheurs et les techniciens les nouvelles techniques de conservation des eaux et des sols. Par la même occasion des simulations ont été réalisées pour montrer aux agriculteurs l'efficacité des techniques.

A la suite de la visite un repas de groupe a été organisé dans un relais touristique de la région. Après le repas, une réunion de mise au point a été organisée dans une salle du relais. Au cours de cette réunion certains agriculteurs ont exprimé le souhait d'essayer certaines des techniques expérimentées à El-Mesreb dans leurs jessours.

Enfin, et au cours des semaines qui ont suivi l'excursion, les chercheurs ont effectué de visites chez les agriculteurs intéressés par l'adoption de nouvelles techniques de conservation des eaux et des sols. Ces visites avaient pour objectifs la démonstration et l'installation aux champs de ces nouvelles techniques.

Tableau 1 : Les différentes étapes de l'approche participative d'amélioration des techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols.

Actions	Concernés	Objectifs
Inventaire, étude et synthèse des travaux de recherche sur les aspects physique, technique et socio-économique des jbel Matmata et la conservation des eaux et des sols en zones arides.	Chercheurs	- Meilleure connaissance du milieu physique et socio-économique de la zone. - Identification des problèmes et des solutions techniques et socio-économiques possibles.
Réunions avec les responsables locaux administratifs, techniques et socio-professionnels à Médenine, à Béni-Khédache et à Gasr Jouamaa.	Chercheurs et techniciens	- Présentation de l'équipe et du programme de recherche-développement (objectifs, résultats attendus, actions, etc.).
Réunions avec les agriculteurs dans le bureau du responsable de l'administration locale, dans une salle de l'école du village et dans les champs.	Chercheurs, techniciens, l'Omda, la profession et les agriculteurs.	- Présentation de l'équipe et du programme de recherche-développement (objectifs, résultats attendus, actions, etc.). - Discussion du contexte physique et socio-économique de la région (problématique de développement) et des problèmes des "jessours".
Visites des champs et interviews.	chercheurs - techniciens et agriculteurs	-Approfondissement des résultats des réunions de groupe et discussion des détails techniques des "jessours et des systèmes de culture.
Excursion aux stations expérimentales de l'IRA à El-Mesreb - Tataouine.	Chercheurs, techniciens, l'omda, la profession et les agriculteurs.	- Démonstration et simulation des nouvelles techniques de conservation des eaux et des sols. - Discussion des innovations techniques des "jessours". - Fixation de la liste des partenaires et discussion des modalités pratiques de ce transfert de technologies (subvention du projet et participation des partenaires).
Démonstration aux champs à Gasr Jouamaa.	agriculteurs, chercheurs et techniciens.	- Supervision des travaux d'aménagement des jessours selon les nouvelles techniques discutées au préalable entre chercheurs et agriculteurs.
Suivi-évaluation des actions de conservation et d'exploitation des eaux et des sols entreprises chez les agriculteurs à Gasr Jouamaa.	agriculteurs, chercheurs, techniciens et omda.	- Des visites périodiques permettent de faire le suivi des travaux. - Suivi de l'exploitation et de la gestion des ressources (eau, sol, etc.) dans les "jessours". - Suivi de la réponse des nouvelles installation aux conditions climatiques.

3. Résultats et discussion

3.1- Importance des techniques de collecte des eaux de ruissellement jessours, fesguias et majels

Dans les zones montagneuses du sud-est de la Tunisie, le système de production est basé sur une agriculture rendue possible grâce à l'aménagement de petites unités hydro-agricoles et à une gestion rationnelle des ressources. En effet, grâce à l'ingéniosité de la population des zones montagneuses, des « jessours » ont été aménagés et ont permis la plantation de figuiers, d'oliviers, de palmiers et la culture des céréales et des légumineuses et des cucurbitacés.

En outre, les «jessours» sont souvent complétés par d'autres techniques de captage des eaux de ruissellement. Il s'agit des «tabias» («hamala») pour guider les eaux pluviales, provenant d'un impluvium naturel, vers les citernes de collecte d'eau («majel» ou «fesguia»), vers les «jessours» ou vers les zones d'épandage des eaux de crue d'oueds («mgoud»).

Les «majels» et les «fsagui» (pluriel de «fesguia») sont utilisés pour l'irrigation des jeunes plantations dans les «jessours» (les premières années de plantation) et pour réaliser des irrigations d'appoint des arbres au cours des sécheresses prolongées.

L'Etat encourage par différentes subventions, jusqu'à 50 %, la construction des «jessours», des «majels» et des «fsagui». Les plantations arboricoles, dans les «jessours» sont aussi subventionnées par l'Etat.

3.2- Les limites des techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols

Les différentes études menées dans les zones montagneuses et qui ont concernés les techniques de mobilisation des eaux de ruissellement sus-citées, ont soulevé les problèmes auxquels ces techniques traditionnelles sont confrontées et leurs limites techniques et économiques. Parmi ces limites confirmées par la présente étude nous citons surtout :

- Le manque d'entretien et l'abandon par la population, dans certains secteurs (difficiles, éloignés, etc.), des «jessours» ce qui engendre la destruction des «tabias» et la perte d'un important patrimoine arboricole,
- La disproportion entre la capacité de rétention de l'ouvrage et la surface de l'impluvium lors des fortes pluies ce qui se traduit par la destruction des ouvrages (CHAHBANI, 1984, 1990),
- La mauvaise conception des ouvrages de conservation des eaux et des sols aux conditions édapho-climatiques de la région cause leur destruction après un certain temps (CHAHBANI, 1996),
- L'absence d'entretien des arbres fruitiers (taillages de formation et d'entretien) engendre un déséquilibre entre la partie aérienne et souterraine,
- Les fortes densités et la faible diversification culturale dans les «jessours» provoquent la surexploitation de l'espace et des ressources,
- Manque de savoir faire pour l'utilisation optimale de toutes les potentialités des eaux de stockage dans les réservoirs d'eau (CHAHBANI, 1997),
- Faible revenu agricole (surtout de la production végétale 7 à 15 %) des systèmes de production basés sur les «jessours» (NASR, 1993).

3.3- L'amélioration des techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols

Plusieurs innovations techniques de conservation et d'exploitation des eaux et des sols ont été montrées et discutées avec les agriculteurs ; celles qui ont été adoptées par ces derniers et avec leur participation financière sont les suivantes :

*** L'évacuateur tubulaire**

Les déversoirs sont très sensibles à la destruction par les eaux de débordement lors des pluies exceptionnelles. Pour éviter ce risque de destruction, le système d'évacuation tubulaire des lacs collinaires a été adapté aux ouvrages de petite hydraulique type «jessour». Ce système comprend un tube vertical et un autre sub-horizontalement légèrement incliné vers l'aval. Ces tubes sont liés par un «coud» en maçonnerie. Du côté amont du barrage, le tube sub-horizontalement est enterré à 50 ou 80 cm de profondeur. Ce même tube passe sous le barrage ou tabia du «jessour» et répareit du côté aval, où il doit être apparent sur un à deux mètres.

Ce système a été conçu (CHAHBANI, 1997) pour remplacer les déversoirs traditionnels «manfes» ou «masref» des «jessours» accrues de défaillances techniques lors des grands événements pluvieux (BONVALLOT, 1979 et CHAHBANI, 1990). La technique d'évacuateur tubulaire a été testée dans la station expérimentale de l'IRA à El-Mesreb (Tataouine) et a bien fonctionné lors des importantes pluies de 1992 et des inondations de septembre 1995.

*** La poche en pierres enterrées**

Les eaux de ruissellement arrivent au niveau des «jessours» chargées en matières solides (sable, limon, argile, etc.) qui, en se décantant, forment une couche d'argile imperméable bloquant l'infiltration des eaux de rétention. Ces eaux stagnent dans le «jessour» et se perdent par évaporation. Pour valoriser les eaux récupérées dans les «jessours» une technique de poche en pierres sèches a été testée. Cette technique, essayée dans la station expérimentale d'El-Mesreb consiste à favoriser l'infiltration des eaux vers les horizons inférieurs du sol. Le dispositif comprend une poche en pierres sèches enterrées et un système de drainage. Ce dispositif peut être sous forme de tubes emboîtés ou de flotteur drainant (CHAHBANI, 1997).

*** Optimisation de la gestion des eaux des «majels» et des «fsaguis»**

Les techniques traditionnelles de puisage et de transport des eaux des citernes souterraines «fsaguis» et «majels», sont très rudimentaires. L'eau est puisée par des seaux et transportés dans des conditions très difficiles par les hommes et des fois à dos d'âne dans des jarres ou des bidons. Pour l'amélioration de ces techniques on a conçu une technique permettant de minimiser les efforts humains et les pertes d'eau. Dans cette technique le puisage de l'eau s'effectue automatiquement par gravité.

Dans les «jessours» les techniques d'irrigation souterraine sont les plus recommandées et ce pour une utilisation optimale des eaux des «fsaguis» et «majels» (CHAHBANI, 1997a, 1997b). A cet effet deux techniques peuvent être adaptées :

- l'irrigation souterraine localisée pour les cultures herbacées (pastèque, melon, tomate, concentré et piment) moyennant un dispositif tubulaire.
- l'irrigation souterraine localisée pour les arbres fruitiers moyennant des poches en pierres.

Tableau 2 : Programme d'amélioration des techniques de conservation et de gestion des eaux pluviales dans les jessours

Techniques	Réalisation	Coût unitaire (D.T)	Participation du bénéficiaire
Remplacement du déversoir traditionnel par un dispositif tubulaire	3 tabias 1 agriculteur	140	20 %
Utilisation des eaux des majels pour l'irrigation d'appoint localisées des arbres fruitiers	1 (40m3) 1 agriculteur	2200 200	60 % 20 %
Poches en pierres sèches enterrées pour les irrigations d'appoint localisées	30 2 agriculteurs	3,5	30 %
Conservation des eaux de rétention (jesser) dans les couches profondes du sol	1 1 agriculteur	150	20 %
Distributeur des eaux d'irrigation localisée pour les cultures maraîchères	50 3 agriculteurs	0,5	50 %

4. Conclusion

En conclusion nous pouvons dire que les différentes techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols employées dans le centre et le sud de la Tunisie ont d'importants performances et ils ont montré leurs preuves à travers le temps puisque plusieurs «jessours» de l'époque romaine sont encore fonctionnels.

Toutefois, ces techniques doivent être améliorées pour augmenter leur efficacité, diversifier et développer les productions agricoles et pour la même augmenter le revenu des agriculteurs. L'Etat et aussi les agriculteurs sont conscients de l'importance de la conservation des eaux et des sols. Toutefois des innovations techniques doivent être apportées aux systèmes traditionnels.

L'expérience a montré que les agriculteurs sont prêts à investir pour innover les techniques traditionnelles et améliorer leurs revenus.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ministère De L'économie Nationale (1971) : L'eau facteur décisif d'aménagement, groupe huit.
- Direction Générale De La Conservation Des Eaux Et Des Sols : Stratégie nationale de la conservation des eaux et des sols, 29 p. et annexes.
- IRA-ICARDA (1993) : Diagnostic physique et socio-économique du bassin versant d'Oued Graguer. Projet de recherche-développement sur la gestion des ressources dans les régions sèches d'Asie d'Ouest et d'Afrique du Nord. 81 p. et cartes.
- Nasr N. (1993) : Systèmes agraires et organisation spatiales en milieu aride : cas d'El-Ferch et du Dhahar de Chénini-Guermessa (sud-est tunisien). Thèse de Doctorat, Université Paul Valéry - Montpellier III, 271 p.
- Missaoui H. (1994) : La conservation des eaux et des sols en Tunisie, 1990-2000. Séminaire sur «la conservation des eaux et des sols : une composante du développement agricole durable». Kairouan, Tunisia, du 30 mai au 1er juin 1994. 15p.
- Chahbani B. (1984) : Contribution à l'étude de l'érosion hydrique des loess de Matmata et de la destruction des «jessours». Bassin versant de l'oued Demmer, Beni Khédache, sud tunisien. Thèse de 3ème cycle en géomorphologie appliquée. Université de Paris I, 1984.
- Chahbani B. (1990) : Contribution à l'étude de la destruction des ouvrages de petite hydraulique dans le sud tunisien. Revue des Régions Arides. N° 1. Publication de l'Institut des Régions Arides, 1990.
- Chahbani B. (1992) : The «buried stones pocket» a new irrigation technique for trees plantations in arid regions. Proceedings of Nato Workshop : water saving techniques for plant growth (17-19 september 1990 - Gent - Belgium). Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 1992.
- Chahbani B. (1996) : Researches on Water and Soil Conservation and Valorization in Aridlands of South and Center of Tunisia. Symposium of Water Resources in Arab countries. Tripoli (Libya) 18-21 march 1996.

- Chahbani B. (1996) : Nouvelle méthode pour le dimensionnement des ouvrages de petite hydraulique dans le centre et sud tunisiens. Revue des Régions Arides n° 9 (1/96). Publication de l'Institut des Régions Arides. Médenine-Tunisie.
- Chahbani B. (1996) : Les acquis de recherche dans le domaine de la conservation et la valorisation optimale des eaux de ruissellement dans les régions arides du centre et sud tunisiens. Acte du séminaire international. Jerba, 5-6 et 7 décembre 1996.
- Boubakri B. (1996) : Etude technico-économique des travaux de CES dans la région de Béni Khédache. Mémoire de fin d'étude de cycle de formation d'ingénieurs de travaux. IRA Médenine, 76 p.
- Labras A. (1996) : Analyse comparée de l'opportunité technico-économique de l'oléiculture en plaine et en montagne dans le sud-est tunisien. Mémoire de fin d'étude de l'ESA Mograne, 73p.
- Sghaier M., Nasr N. Et Chahbani B. (1996) : Participatory approach in naturel resources management applied to water harvesting in Matmata Mountaines (south of Tunisia). International workshop on naturel resources management in the dry regions, IRA-ICARDA, Médenine, septembre 1996, 16p.

POUR UN PARTENARIAT DANS LA REHABILITATION DES *Jessour* EN ZONES ARIDES: *Cas du bassin versant d'Oued Kef-Chern (Douiret, Tataouine)*

LAFFAT F., M. OUESSAR & K. AZEQ
*Association de Sauvegarde de la Nature et de Protection de
l'Environnement à Douiret (ASNAPED), 3232 - Douiret,
TUNISIE*

RESUME

Jouant des rôles divers (récolte des eaux, recharge de la nappe, contrôle des inondations et la lutte contre l'érosion), les *jessour* ont montré une efficacité indéniable d'adaptation avec les conditions du milieu dans la zone aride montagneuse du Sud-Est du pays.

Suite aux bouleversements socio-économiques (émigration, exode rural, changement de modes de vie, scolarisation, ...) qu'a connus la région depuis l'indépendance, ce système d'aménagement des bassins versants en zones arides souffre énormément du problème d'entretien, surtout après les événements pluvieux exceptionnels.

Pour sauvegarder un patrimoine très riche en arbres fruitiers (olivier, figuier, ...) et en structures hydrauliques et de maintenir, par conséquent, l'équilibre hydroécologique dans ces zones menacées par la désertification, il est inévitable de chercher d'autres formes d'adaptation des systèmes traditionnels aux nouvelles réalités sociales et économiques. Assistée par le PNUD (FEM/ONG), l'ASNAPED a lancé un projet de 32.000 \$ pour la réhabilitation de plus qu'une centaine d'ouvrages dans le bassin versant d'oued Kef-Chern. L'ONG a joué le rôle d'intermédiaire et de coordinateur entre les différents partenaires impliqués à savoir, l'agriculteur, l'agence de donation et l'administration (Gouvernorat, CRDA, ...).

Cette expérience pourrait servir de précurseur pour d'autres ONG de la région.

Pour assurer la durabilité des aménagements réalisés une AIC de CES, qui se chargera des opérations d'entretien et la mise en valeur des ouvrages, est en cours de formation.

Par ailleurs, il s'est avéré que d'autres approches méritent aussi d'être étudiées et testées telles que les entreprises de gestion et d'exploitation, les coopératives, etc.

Mots clés: aride, *jessour*, CES, partenariat, ONG, Tunisie

SUMMARY

Playing various roles, the *jessour* technique has shown a good adaptation with the physical and human environment of the mountainous arid region of southern Tunisia. However, the socio-economical mutations have led to a poor maintenance of this system.

In order to preserve a large fruit trees growing zone and the small hydraulic structures and to maintain the hydro-ecological equilibrium in these regions at the fringe of the desert threatened by them of desertification, the ASNAPED launched a project of rehabilitation of damaged *jessour* in a watershed near the village of Douiret. The NGO played the role of an intermediary between different partners namely, the farmers, the regional authorities and the donor agency.

The *jessour* can continue fully playing their roles if their management system is adapted to the new social and economic realities. The formation of watershed associations is already under experience. Other alternatives are to be studied and tested such as, private companies and cooperatives.

Key words : arid, *jessour*, soil & water conservation, NGO, partnership, Tunisia.

INTRODUCTION ET APERCU HISTORIQUE

Située au nord de la 30^{ème} parallèle, la Tunisie est dotée d'un climat méditerranéen: l'été chaud et sec, dure trois à cinq mois, l'hiver frais et irrégulièrement pluvieux; l'automne et le printemps y sont aussi variables. Bref, c'est la variabilité qui caractérise le climat du pays dont l'ampleur s'accroît en allant du Nord vers le Sud (Kassab 1979, Hénia 1993).

Pour pallier à cette variabilité climatique et alléger l'impact de ses conséquences néfastes (des sécheresses prolongées ou des inondations désastreuses), les sociétés humaines qui se sont succédées sur le pays n'ont pas épargné d'efforts pour concevoir des techniques appropriées permettant le développement du secteur agricole,

principalement en sec (El Amami 1984, Alaya *et al.* 1993, Ennabli 1993, Pérennès 1993). Contraints donc des conditions naturelles assez difficiles, les habitants des régions arides et semi-arides ont développé un réel savoir-faire en matière d'aménagement hydro-agricole, surtout pour gérer des ressources en eau et en sols si aléatoires et si rares: C'est l'art de vivre avec la rareté et la variabilité.

En parcourant ces régions, on est frappé par la diversité des aménagements hydrauliques. El Amami (1984) a pu mettre en relief le parallélisme étroit et net qui existe entre les différents types d'aménagements et ouvrages et la variation du bioclimat d'une zone à une autre. C'est ainsi qu'on retrouve pour chaque zone bioclimatique des aménagements qui répondent à ses contraintes spécifiques, preuve indéniable d'adaptation des populations avec leur environnement.

Occupant un site de carrefour méditerranéen, la Tunisie était depuis l'antiquité un terrain de bataille entre les autochtones et les différents conquérants venant du Nord ou de l'Est. C'est ainsi que les populations locales du Sud-Est du pays ont choisi de s'installer dans les zones montagneuses militairement stratégiques et de se déplacer en plaines seulement pendant les périodes calmes. Donc, isolées dans ces zones hostiles, ces populations ont dû s'adapter avec leur environnement en inventant des techniques appropriées telles que les *jessour*, citernes, ... qui leur permettaient non seulement de subsister mais de prospérer.

L'émigration a constitué une des composantes de l'économie de ces populations dans une stratégie de diversification des revenus face aux fluctuations de la production agricole engendrée par la variabilité des précipitations. Cependant, les mutations socio-économiques qui ont survécu le lendemain de l'indépendance ont accéléré ce phénomène qui a abouti à un exode rural massif vers les grands pôles urbains (Tunis, ...) (Nasr 1993). Il a eu pour résultat un abandon progressif des activités agricoles et, par conséquent, un entretien de moins en moins fréquent des *jessour*.

Créée en 1986, l'ASNAPED a eu pour mission principale le développement de la région de Douiret via:

- la conservation des ressources naturelles et maintien de l'équilibre écologique, et
- la relance des activités culturelles, sociales et économiques.

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette initiative qui a concerné essentiellement la réhabilitation des *jessour* dans le bassin versant d'oued Kef-Chern.

Description d'un aménagement-type en *Jessour* (Fig. 1.)

Le *jesr*, singulier des *jessour*, est une unité hydraulique constitué de l'ensemble suivant: la digue ou le barrage, la terrasse et l'impluvium. Les *jessour* occupent les bas fonds et les cours d'eau inter-montagnes. Ils forment une chaîne tout au long des talwegs pour constituer des gradins sur les bassins versants appelé *Chaaba*. On estime que plus que 400.000 ha sont aménagés en *jessour* dans le Sud tunisien (El Amami 1984).

La digue

Elle est appelée aussi *katra* ou *tabia*. C'est un barrage en terre compactée construit au travers du talweg et perpendiculairement à la pente. Elle a une forme plus au moins trapézoïdale. Elle est souvent consolidée en amont (*sdar*: pour contrecarrer l'effet vague) et en aval (*gfaa*: pour éviter l'érosion régressive causée par les eaux de débordement) par des pierres sèches. Elle est munie aussi d'un déversoir central (*masref*) et/ou latéral (*manfes*) pour l'évacuation des eaux de débordement. Ces derniers sont généralement fait en pierres taillées disposées en escalier (dans certains cas associés à un *merfed*) pour réduire l'énergie cinétique due à la chute des eaux évacuées. Un ou deux *ktesf* ou culées faites en pierres sèches ou taillées assurent la connexion entre le déversoir et le reste de la digue ainsi que l'acheminement des eaux d'excès vers l'ouvrage inférieur. La longueur de la digue dépend de la largeur du ravin. Elle varie donc de 10 à 100 m. La hauteur est aussi variable (1 à 5 m).

La terrasse

C'est la retenue proprement dite où s'accumulent les eaux de ruissellement. C'est le site où on pratique de l'arboriculture (olivier, figuier, palmier, amandier, ...) et des cultures annuelles (orge, blé, fève, lentilles...). La retenue se forme progressivement par la sédimentation des matériaux de charriage, ramenées par les eaux de ruissellement, derrière le barrage et qui permet aussi le nivellement de la pente initiale du terrain. C'est ainsi qu'un 'sol' artificiel, dont l'épaisseur va en croissant de l'amont à l'aval, se forme avec des couches plus ou moins épaisses (en fonction des crues). Evidemment, chaque couche est formée d'un dépôt en bas de sable grossier et des cailloux, du limon et de l'argile en surface (Chehbani 1990).

L'impluvium

C'est l'aire de l'alimentation de la terrasse. Il est délimité par la ligne de partage des eaux entre les sous-bassins versants de chaque *jesr*. C'est une limite naturelle. Cependant, dans le cas où ceci ne suffit pas, on installe une petite rigole de déviation sur l'impluvium du voisin, connu localement par *hammala*, pour assurer un complément d'eau pour la parcelle en question.

Vue l'aridité prononcée du climat, on estime que le facteur K (rapport de la superficie de l'impluvium sur celle de la retenue) est de 4 à 6 généralement mais il peut atteindre des valeurs plus grandes (10, 20 et même 100). Donc, les cultures installées derrière les *jessour* reçoivent un surplus en eau de ruissellement très important ce qui explique l'existence des oliviers géants qui peuvent atteindre 20 m de hauteur et plus que 30 m de largeur.

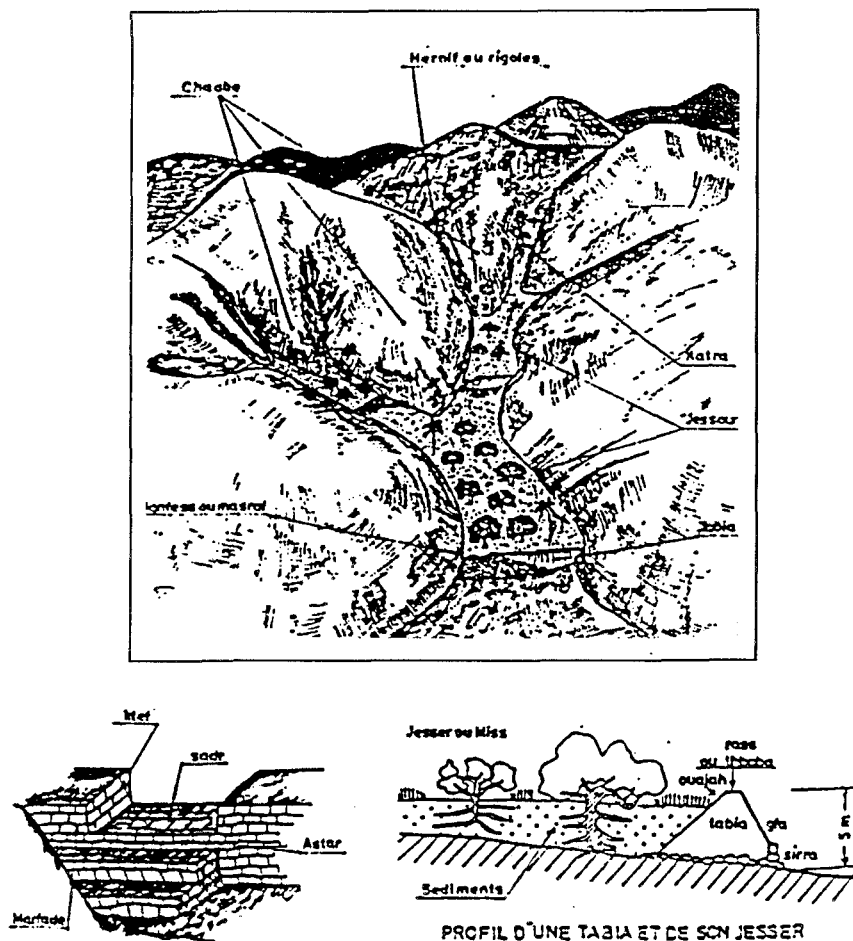


Fig. 1. Schéma d'un aménagement-type en *jessour* (d'après El Amami 1984).

Impacts agro-écologiques des *Jessour*

C'est grâce à l'introduction de cette technique qu'on a pu créer des 'sols' profonds (1 à 5 m) dans une zone où les sols proprement dits sont peu profonds voire même inexistants, exception faite pour les régions d'accumulation de loess (Matmata). Ceci a contribué énormément à:

- * l'amélioration des conditions hydriques (apport d'un supplément d'eau) et édaphiques (création des 'sols') pour le développement de l'arboriculture et la céréaliculture.
- * la recharge de la nappe phréatique exploitée par les puits de surface pour l'approvisionnement des populations rurales et l'irrigation des petits périmètres
- * le contrôle des inondations et la protection des infrastructures en aval (villes, routes, usines,
- * la réduction de l'érosion éolienne dans les plaines par le piégeage des matériaux (sable, limon et argile) derrière le barrage.

Evidemment, on pourrait imaginer l'ampleur des conséquences néfastes en l'absence d'un tel aménagement: inondation, apport de sédiments et érosion éolienne, rabattement des nappes, ... etc. et leur répercussions sociales, en l'occurrence l'exode rural massif.

Les larges superficies réservées comme impluvium sont destinées pour le pâturage des troupeaux des populations locales (caprins, ovins et camelins). Malgré que le défrichement augmentent sensiblement le

ruissellement et le transport solide, on ne fait jamais recours à cette pratique afin de maintenir l'équilibre écologique et de préserver les parcours.

Evolution des stratégies des CES

La politique de la CES en Tunisie a connu quatre expériences, à savoir (Minis. Agri. 1990, Hizem 1994):

- stratégie paysanne - communautaire,
- stratégie étatique - interventionniste,
- stratégie technocratique, et
- stratégie de partenariat.

Les travaux de lutte contre l'érosion ne sont pas nouveaux dans le pays. Un grand nombre d'indices et de récits historiques (El Amami 1984, Alaya *et al.* 1993, Ennabli 1993, Pérennès 1993,) ont tendance à montrer que les sociétés humaines qui se sont succédées sur nos territoires ont rarement été indifférentes à l'érosion des sols. Elles ont, au contraire, oeuvré pour lutter contre ce fléau. En effet, c'est aux Berbères et aux Phéniciens que reviennent les premières pratiques encore reproduites jusqu'à nos jours: *meskat*, *jessour*, ... Puis les Romains ont valorisé le savoir-faire existant et l'ont enrichi avec l'introduction d'autres techniques telles que les barrages, fossés de garde, cordons en pierres, terrasses, ... Enfin, la conquête arabo-musulmane a entraîné dans son sillage l'introduction de nouvelles pratiques d'utilisation et de maîtrise à grande échelle de la technique d'épandage des eaux des crues et de ruissellement.

Ces techniques utilisées au cours de ces périodes et jusqu'à l'indépendance étaient des opérations spontanées se trouvant en total symbiose avec les types d'organisation sociales et constituaient un produit attaché à la fois à un contexte socio-économique et environnemental. En effet, les travaux de confection des ouvrages et même l'exploitation des parcelles agricoles (labour, récolte, ...) sont assurées dans la plupart des cas par les communautés rurales.

Au lendemain de l'indépendance, la croissance démographique et l'orientation vers l'intensification et l'augmentation de la production agricole ont contribué, parmi d'autres, à engendrer une pression croissante sur les sols et les autres ressources naturelles comme l'eau, la végétation, ... Face à l'ampleur du phénomène de l'érosion (éolienne et hydrique), l'Etat Tunisien s'est engagé depuis l'indépendance dans des programmes de grande envergure de conservation des eaux et du sol et de reboisement pour assurer la protection des ressources naturelles menacées et créer de l'emploi. Cependant, sous la pression du chômage dans la plupart des régions du pays suite à une longue sécheresse (1964 - 1968), les chantiers de CES sont devenus dans de nombreux cas des leviers et des instruments de régulation du marché de l'emploi en zones marginales. Parallèlement, ceci a contribué à enraciner davantage la mentalité d'assistance chez les paysans. Donc, au cours des deux décennies (1960 - 1980), les programmes de la CES étaient souvent liés aux réalités de sous emploi et à la lutte contre le chômage rural.

La création de la Direction de la CES au Ministère de l'Agriculture en 1984 a résulté dans un changement radical dans la politique de la CES dans le pays pour dépasser les défaillances survenues au cours de la période qui s'est écoulée. L'objectif principal de la nouvelle stratégie était d'intégrer la CES dans les interventions de développement rural et au niveau de l'exploitation agricole avec ses différentes contraintes et spécificités agraires. Toutefois, la complexité des phénomènes érosifs et la diversité des situations foncières, sociales et économiques des zones rurales (morcellement, sous emploi, absentéisme, ...) sont autant de facteurs qui imposaient aux techniciens des contraintes spécifiques altérant la planification, la bonne exécution, le suivi, et la maintenance des travaux de CES. Ces derniers étaient guidés par une approche quasi physique des aménagements des bassins versants et le côté socio-économique a été relativement négligé.

Les orientations générales au niveau international vers la protection de l'environnement et la gestion adéquate des ressources naturelles ainsi que la généralisation de l'économie du marché ont constitué les lignes directrices de la nouvelle stratégie décennale de CES (1990 - 2000). Un nouveau concept, c'est celui de la production agricole a marqué cette stratégie ce qui implique une responsabilité collective et une prise en charge par la population. Le problème de l'érosion sera abordée donc sur trois niveaux:

Technique, en déterminant les meilleures mesures à appliquer pour lutter contre l'érosion, maintenir la fertilité du sol, conserver le bilan hydrique et réduire le transport solide vers les barrages.

Economique, en estimant le bénéfice des interventions pour déterminer celles qui vont plus loin dans le sens de l'intérêt des agriculteurs (aspect micro-économique), tout en offrant le meilleur rapport global (coût/avantage) à l'investisseur étatique (aspect macro-économique).

Sociologique, en étudiant le milieu humain et les rapports existants entre l'homme et son milieu afin d'assurer une participation effective des populations concernées.

Projet d'aménagement du B.V Oued Kef-Chern

En plus de ses convictions et ses engagements pour la sauvegarde de la nature et la protection de l'environnement et dans le cadre de la politique nationale de partenariat dans les programmes de CES, l'ASNAPED a présenté en 1995 au PNUD (programme FEM/ONG) un projet intitulé: "*Contribution à la conservation de la biodiversité et lutte contre l'érosion des sols dans la région de Douiret*" qui est articulé essentiellement sur des actions de conservation des eaux et des sols. Il a été retenu en décembre 1995 et son exécution a été confiée à l'ASNAPED.

Méthodologie d'intervention

La démarche adoptée est schématisée sur la Fig. 2.

Sensibilisation de la population:

Dans le cadre de ses activités scientifiques et culturelles, l'ASNAPED a organisé le 24 et 25 décembre 1994 un séminaire intitulé "Douiret à la veille du 21^{ème} siècle" où une communication sur "les *jessour* et l'eau" a été présentée. C'était en effet une occasion pour aborder le problème de la destruction de ces aménagements typiques de la région et les conséquences néfastes qui pourraient en résulter telles que la chute de la productivité des parcelles agricoles et la disparition du patrimoine arboricole (olivier, figuier, ..), l'accélération des processus de l'érosion hydrique, la diminution de l'alimentation de la nappe phréatique, les inondations, etc. Il a été proposé en premier lieu de réaliser une étude sur l'état des ouvrages. Des bassins versants potentiels ont été choisis en se basant sur les critères suivants:

- Accessibilité: Ces bassins versants sont difficilement accessible surtout pour les engins mécaniques, raison pour laquelle ils n'ont été pas concernés par les chantiers de l'arrondissement CES. D'autre part, c'est là où se retrouvent les plus anciens ouvrages à potentiel arboricole très impressionnant.

- Localisation: Ils se situent en extrême amont du bassin versant d'oued Tataouine. Cette région a la forme d'un entonnoir qui, en cas des averses intenses, pourrait menacer sérieusement les agglomérations et les infrastructures en aval par des inondations désastreuses (i.e. septembre 95).

- Proximité: Ils se trouvent aux environs du village de Douiret.

Recherche des fonds

Fonds directs:

- Proposition de financement principal pour le PNUD
- Complément par le Gouvernorat de Tataouine
- Participation des bénéficiaires (10%).

Fonds indirects:

- Etude et suivi par l'équipe de l'ASNAPED
- Assistanes du CRDA (engins mécaniques, ...), DRE (ouverture des pistes, ...), ...

Choix de la zone d'intervention

Une fois l'enveloppe financière mobilisable est connue, nous avons procédé au choix du site d'intervention. L'emplacement du site est porté sur l'annexe I.

Inventaire détaillé de l'état des ouvrages

Un balayage systématique de tout le bassin versant a été réalisé. L'emplacement des *jessour* a été indiqué sur un plan schématique et la liste des propriétaire et les travaux à réaliser ont été dressés sur un tableau dont le modèle est le suivant:

N° Jesr	Propriétaire	Occupation arboricole				Nature des travaux*
		Olivier	Figuier	Palmier	Vigne	
1	2	0	1	1	P.T.
2	1	2	0	1	S.P.S.
etc ...						

* Les travaux sont de trois types:

- S.P.S. : seuils en pierres sèches
- Terrasse. : terrassement
- P.T. : petits travaux

Contacts des bénéficiaires

Les bénéficiaires ont été contactés individuellement pour:

- l'obtention de leur autorisation pour la réalisation des travaux,
- la discussion et l'ajustement, si nécessaire, du schéma d'aménagement, et
- participation matérielle (10%).

Il est à signaler à ce niveau que les gens s'attachent très fortement à leurs terres et ont exprimé leur disposition à toutes formes de coopération. On a remarqué que généralement il n'y a pas un abandon mais plutôt un délaissement forcé pour des raisons diverses (disponibilité, éloignement, morcellement, ...).

Exécution et suivi

L'exécution des travaux a été organisé par groupes suivant la nature des travaux. Chaque groupe a été dirigé par un spécialiste (savoir-faire) dans la confection manuelle des *jessour* originaire de la région. Seulement une petite partie des travaux a été réalisée par des engins mécaniques. Cette intervention a concerné 116 ouvrages. Le suivi, le contrôle et l'évaluation ont été assurés conjointement par l'ASNAPED, le PNUD et les autorités régionales.

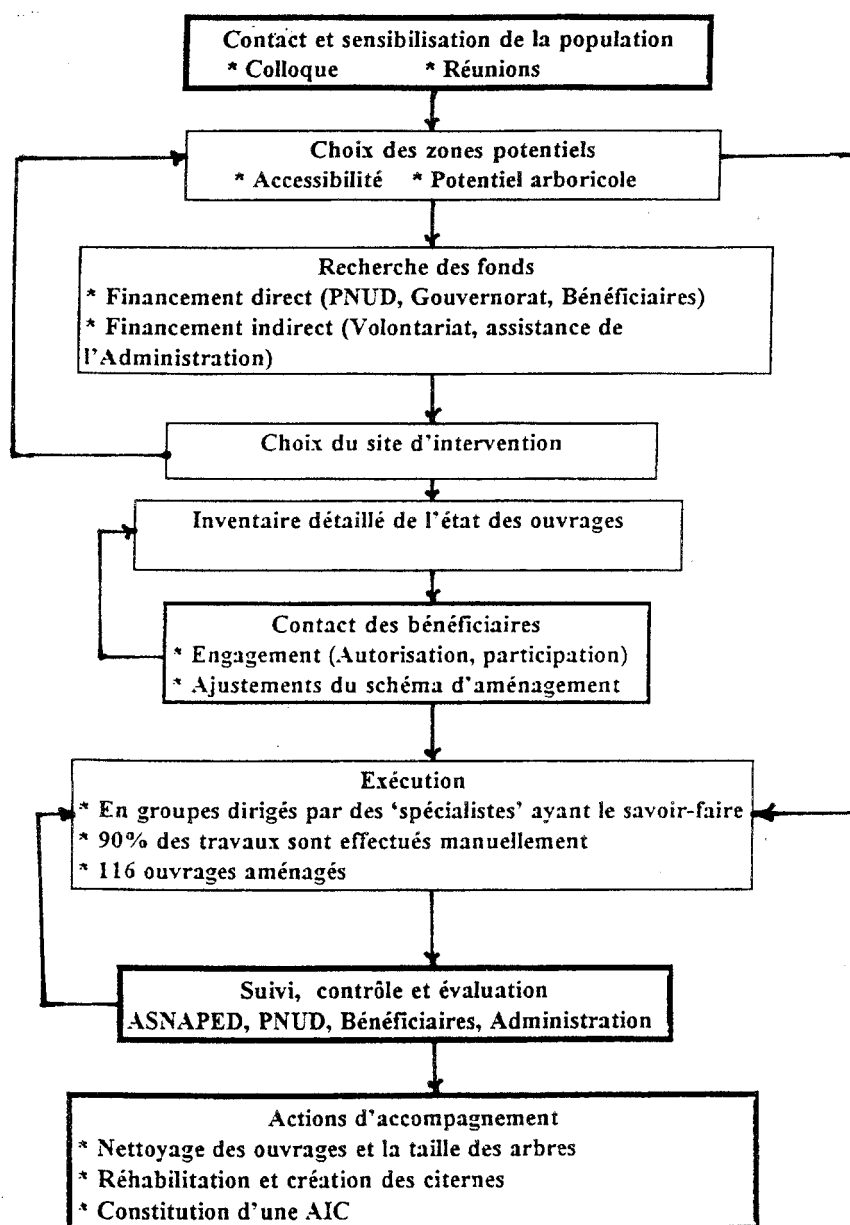


Fig. 2. Schéma de la démarche adoptée par l'ASNAPED.

Actions d'accompagnement

La réparation des ouvrages n'est pas un but en lui-même. En effet, l'objectif principal est de préserver et améliorer le patrimoine arboricole. Afin d'assurer une meilleure productivité, il est inévitable de procéder au nettoyage des ouvrages et la taille des arbres. D'autre part, trois citernes pour la collecte des eaux de pluie ont été créées pour constituer des réserves en eau à proximité.

La formation d'une AIC de CES conformément à la loi n° 70/95 du 17/7/1995 est en cours de négociation à l'échelle régionale et au niveau des bénéficiaires. En effet, cette association, une fois constituée, prendra la relève et se chargera des opérations d'entretien et de la mise en valeur des ouvrages.

Conclusions et perspectives

Par leurs ingéniosité et leurs empirisme, les populations locales de cette zone montagneuse ont su comment s'adapter avec leur environnement climatique et géopolitique en inventant des techniques appropriées qui ont permis à des générations multiples durant des siècles de survivre et de prospérer dans des conditions naturelles très hostiles. Il est par exemple très dur de croire que les oliviers géants derrière les *jessour* ont enregistré des records (jusqu'au 4 t d'olives (1000 l d'huile d'olive) / pied). Donc, c'est une grande perte si nous les laissons au merci des intempéries sachant que des milliers d'ha sont aménagés par ce système hydraulique ingénieux et que tout un équilibre hydro-écologique (contrôle de l'érosion et des inondations, recharge de la nappe, ...) sera mis en péril.

Les stratégies adoptées durant les années 60, 70 et 80 dans le domaine de la CES ont abouti à des résultats non satisfaisants. Parallèlement, les mutations socio-économiques accélérées, que connaît les pays d'une façon générale et le Sud-Est particulièrement, ont engendré un exode rural massif vers les grands pôles industriels et touristiques (Tunis, ...) et, par conséquent, un abandon spectaculaire du patrimoine agricole. C'est ainsi que de nouvelles formes d'intervention pour la conservation des ressources naturelles dans ces zones fragiles devraient être trouvées.

En effet, cette petite expérience a montré que:

- Les ONG pourraient en jouer un rôle actif et fondamental.
- Il n'y a pas un abandon mais plutôt un délaissement pour des raisons diverses (éloignement, morcellement, disponibilité,). Au contraire, les gens s'attachent fortement à leurs terres.
- Il suffit de saisir les occasions disponibles (donations, assistance de l'administration, volontariat, ...) pour mobiliser des fonds importants et d'alléger, par conséquent, la pression sur le budget de l'Etat.

D'autre part, il s'est avéré que d'autres formes méritent aussi d'être testées telles que les AIC de CES (la loi n° 95/70 du 17/7/95), les entreprises d'exploitation qui pourraient résoudre les problèmes liés aux morcellement et l'absentéisme,

Cette expérience pourrait servir de précurseur pour d'autres ONG de la région.

Enfin, il est à signaler que d'autres actions méritent aussi d'être entreprises afin d'assurer la viabilité et la durabilité des efforts déjà déployés telles que:

- * Préservation et transfert du savoir-faire local en matière de CES et des techniques culturelles.
- * Préservation et protection des ressources phytogénétiques locales.
- * Amélioration de l'infrastructure existante (ouverture et maintenance des pistes agricoles, asphalter les axes routiers, ...) pour faciliter le transport des produits agricoles et le déplacement des engins mécaniques et de promouvoir les activités touristiques.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alaya K., W. Viertmann et T. Waibel 1993. Les tabias. GTZ - D/GF, Tunis.
- Chehbani B. 1990. Contribution à l'étude de la destruction des *jessour* dans le Sud tunisien. *Rev. Rég. Ari.*, 1, 137-173.
- El Amami Sl. 1984. Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. C.R.G.R, Tunis.
- Ennabli N. 1993. Les aménagements hydrauliques et hydro-agricoles traditionnels en Tunisie. Imp. Offi. Rep. Tunisienne, Tunis.
- Hénia L. 1993. Climat et bilans de l'eau en Tunisie: Essais de régionalisation climatiques par bilans hydriques. *Pub. Univ. Tunis I, séri. Géog.*, Vol. XXVI.

- Hizem H. 1994. Evolution des stratégies de C.E.S. en Tunisie. Séminaire maghrébin: La C.E.S., une composante du développement agricole durable, Kairouan: 30 Mai - 1 Juin 1994.
- Minis. Agri. (Ministère de l'Agriculture) 1990. Stratégie nationale pour la conservation des eaux et des sols (1990-2000).
- Kassab F. 1979. Les fortes pluies en Tunisie. *Pub. Univ. Tunis, Série: Géog.*, Vol. XI.
- Nasr N. 1993. Systèmes agraires et organisation spatiales en milieu aride: Cas d'El-Ferch et du Dahar de Chénini-Guermassa (Sud-Est tunisien). Doctorat d'Etat, Montpellier, France.
- Pérennès J.J. 1993. L'eau et les hommes au Maghreb: Contribution à une politique de l'eau en Méditerranée. Editions Karthala, Paris.

DYNAMIQUE DES SYSTEMES AGRO-PASTORAUX ET DEVELOPPEMENT EN ZONES ARIDES

Ali ABAAB* et Nouredine NASR**

* Secrétariat d'Etat à la Recherche Scientifique et à la Technologie, Tunis.

** Institut des Régions Arides, 4100 Médenine, Tunisie.

RESUME

Le suivi de la dynamique agro-pastorale d'une zone du sud-est tunisien, a permis, en particulier, d'observer la transformation des systèmes productifs d'une trentaine d'exploitations à travers l'analyse des résultats technico-économiques de quatre campagnes agricoles. Les principaux enseignements à tirer de ce suivi et de ces analyses concernent : 1. l'espace steppique et la société agro-pastorale sont en mutation continue, 2. le foncier est au centre de cette mutation et est caractérisé par la privatisation continue des anciennes terres collectives, 3. les systèmes productifs sont caractérisés par une certaine intensification et par une intégration croissante entre l'agriculture et l'élevage. Les services de développement ainsi que les structures de recherche sont appelés à tenir compte, dans leurs stratégies d'intervention en zones agro-pastorales des régions arides, des mutations et des dynamiques des systèmes et des milieux.

Mots clés : Tunisie, aride, foncier, système agro-pastoral, région marginale, environnement.

SUMMARY

This study concerned the agro-pastoral dynamic on 30 farms south-eastern region of Tunisia. The striking fact was the transformation of the production system. The analysis of the technico-economic results of four successive agricultural campaigns revealed that :

the mutations continue to affect both of the steppic landscape and the agro-pastoral society.

The ownership represent the most striking fact of the collective rangelands.

An intensification of the production systems and complementarity between farming and livestock husbandry.

There-fore, development agencies and research institutions operating in the arid region have to take in consideration these key issues in their strategy.

Key-words : Tunisia, arid, ownership, agropastoral system, marginal region, environment.

1. INTRODUCTION

Les systèmes pastoraux et agro-pastoraux connaissent depuis quelques décennies une dynamique très forte dont l'impact sur la gestion de l'espace et des ressources naturelles et donc sur l'équilibre écologique et socio-économique mérite d'être étudié et suivi. Dans la steppe du centre et du sud de la Tunisie, les mutations socio-économiques (sédentarisation des populations nomades et semi-nomades, privatisation des terres collectives, extension de l'arboriculture, de la céréaliculture et des périmètres irrigués et généralisation de la mécanisation agricole) ont engendré plusieurs problèmes de gestion des ressources naturelles et de dégradation de l'environnement.

Dans l'objectif de contribuer à la mise en place de stratégies de développement durable des zones steppiques, nous présentons une synthèse des résultats du programme de recherche-développement "systèmes pastoraux maghrébins-Tunisie", réalisé dans le sud-est tunisien, dans la zone de Neffatia (Gouvernorat de Médenine).

2. Matériels et méthodes

L'étude de la dynamique des systèmes pastoraux à Neffatia s'est basée sur plusieurs types d'enquêtes et d'investigations. Ces enquêtes de suivi ont été menées sur quatre campagnes agricoles auprès d'un échantillon d'agropasteurs (une trentaine) représentatif des 7 groupes d'exploitations identifiés par la typologie réalisée lors du premier diagnostic dans la zone (IRA-CRDI, 1989 et 1994 et ABAAB, BEN ABED et NASR, 1992). Parallèlement aux enquêtes exploitations d'autres investigations ont permis d'étudier des aspects spécifiques de

l'élevage, de la céréaliculture, de l'oléiculture, du partage et de la gestion des terres collectives et de la commercialisation.

3. Résultats et discussions

Le programme de recherche sur les systèmes pastoraux qui s'est déroulé en deux phases, une de diagnostic physique et socio-économique et l'autre de suivi et d'actions de développement participatif a été conduit par une équipe pluridisciplinaire de chercheurs regroupant des spécialistes des sciences sociales, végétales et animales et de développeurs. La richesse des discussions, les résultats acquis par ce collectif de recherche et de développement ainsi que le partenariat établi avec les agropasteurs de la zone d'étude nous ont permis de tirer de nombreux enseignements relatifs à la dynamique en zone agro-pastorale. En effet, nous pouvons dire que les systèmes et les milieux agro-pastoraux du sud-est de la Tunisie connaissent une dynamique très forte qui traduit un processus de transformations inachevées dont les implications en matière de développement, mais aussi de recherche, sont très importantes. Aussi, les interventions dans ces milieux nécessitent la prise en compte de cet aspect dynamique et inachevé des transformations en cours. Les enseignements les plus instructifs de ce travail de recherche basé sur une approche empirique sont :

3.1 Le foncier, au centre de la Dynamique agro-pastorale

Au centre de la dynamique, le système foncier joue un rôle capital en raison d'une part de l'importance des superficies des terres collectives et d'autre part de la soumission de ces dernières à un processus accéléré d'attribution et de privatisation. En effet, l'opération "apurement foncier", engagée par l'administration depuis les années soixante-dix et qui a permis jusqu'à nos jours de transférer à la propriété privée environ le 1/3 des anciennes terres collectives de Neffatia, modifie chaque jour les structures et le paysage agraires d'une zone anciennement pastorale. La privatisation des terres collectives a relancé le marché foncier dans cette zone pastorale. Ainsi, le prix d'1 ha de terrain de parcours est passé de 60 D.T (1 D.T ~ 1 \$ US) en 1988 à plus de 400 D.T en 1995. De même, les contrats de "mogharsa" se multiplient pour devenir l'aspect le plus remarquable de la nouvelle dynamique foncière. C'est ainsi que la majorité des exploitations de Neffatia sont concernées par la "mogharsa" qui associe généralement des agropasteurs résidents sur place à des propriétaires de terre absentéistes.

Le développement des transactions foncières ainsi que les contrats de "mogharsa" semblent entraîner une concentration foncière au profit d'une certaine frange de la population agro-pastorale. Cette dernière pratique des activités non agricoles lui permettant de disposer de revenus extérieurs non négligeables qui sont en partie, investis dans l'achat des terres et la plantation d'arbres.

C'est ainsi que la superficie des terres privées est passée, dans les exploitations du groupe des "arboriculteurs émigrants" de 14 ha/exploitation en 1988 (ABAAB, BEN ABED et NASR, 1992). à 124 ha en 1994. Pendant la même période, la superficie moyenne des terres privées par exploitation du groupe des "pasteurs traditionnels" a presque doublé.

En somme, la zone de Neffatia, comme le reste des autres zones agro-pastorales du sud-est tunisien, continuera à voir ses structures foncières et son paysage agricole évoluer progressivement, mais d'une façon irréversible, vers un système agricole à dominante agricole en concomitance avec l'apurement foncier des terres collectives.

3.2 Les oliveraies dans les parcours

Le suivi des exploitations agro-pastorales à Neffatia a confirmé l'évolution du système pastoral vers un agro-pastoralisme où l'activité de l'élevage est de plus en plus intégrée à une activité de production végétale dominée par l'oléiculture. En effet, l'extension des superficies arboricoles dont le front pionnier a progressé considérablement, depuis nos premières enquêtes dans la zone (IRA et CRDI, 1989), vers le secteur sud de l'Imada de Neffatia où sont situés les vastes parcours de Barouane.

La plantation des oliviers à Neffatia date des années 1930 grâce aux contrats de "mogharsa" établis entre des propriétaires terriens appartenant aux fractions des Ouled Hamed (famille Boujnah), des Ghbenten et des Ouderna d'un côté, et des "mogharsia", Akkara (de Zarzis) de l'autre. Ces premières plantations constituent l'essentiel des terres d'origine privative signalées en 1988 au moment du démarrage de notre recherche et couvraient 1712 ha dont une partie est l'actuel "Henchir Boujnah". Parallèlement, le processus de privatisation des terres collectives a entamé l'extension de l'arboriculture dans les anciens parcours collectifs. C'est ainsi que l'effectif arboricole moyen par exploitation a évolué entre 1990 et 1994 de 394 à 574 arbres dans les exploitations du groupe des "grands exploitants", de 2606 à 3062 arbres dans le groupe des "grands arboriculteurs" et de 1847 à 3288 arbres dans celui des "arboriculteurs émigrants" (tableau 1)

¹ Moghara : contrat entre deux personnes, l'une apportant travail et intrants et l'autre la terre. Une fois vivifiée, selon les termes du contrat, la terre est partagée à égalité entre le propriétaire et le "mogharsia".

Tableau 1 : Extension des plantations arboricoles par exploitation et par système de production à Neffatia (1990-1994)

Groupes/années	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994
Les "grands exploitants"	394	499	499	574
Les "pasteurs traditionnels"	102	170	178	196
Les "éleveurs moyens"	422	467	502	507
Les "grands arboriculteurs"	2606	2838	2864	3062
Les "arboriculteurs émigrés"	1847	2417	2650	3288
Les petits "agriculteurs-éleveurs"	468	518	674	749
Les "producteurs marginaux"	682	710	752	784
Moyenne de la zone	931	1088	1160	1308

Source : Enquêtes syst. past., IRA, 1990-1994.

Nous constatons que l'extension de l'arboriculture a concerné tous les systèmes sans exception. Même les agropasteurs du groupe des "pasteurs traditionnels" se sont lancés, depuis le partage des parcours collectifs de Barouane, dans la plantation de l'olivier à Neffatia.

3.3 Vers une complémentarité agriculture-élevage en zones steppiques

L'extension de l'arboriculture au détriment des espaces pastoraux n'a pas entraîné paradoxalement une réduction du cheptel des petits ruminants à Neffatia. En effet, malgré la réduction des espaces réservés aux parcours et la succession des années de sécheresses (1989-1990, 1991-1992 et 1992-1993) l'effectif des animaux a augmenté. C'est ainsi que l'effectif moyen des 30 exploitations concernées par le suivi socio-économique, est passé de 78 têtes en 1990 à 161 têtes en 1992-93 soit une augmentation d'environ 100% et ce malgré une production fourragère sur parcours de plus en plus faible (tableau 2). Cependant, l'effectif du cheptel a connu une réduction en 1993-94 et ce suite à 2 années sèches.

Tableau 2 : Evolution de la taille moyenne du troupeau des petits ruminants par exploitation et par système de production à Neffatia (1990-1994)

Groupes/années	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994
Les "grands exploitants"	152	303	387	227
Les "pasteurs traditionnels"	95	179	203	194
Les "éleveurs moyens"	105	204	160	103
Les "grands arboriculteurs"	66	105	121	42
Les "arboriculteurs émigrés"	45	118	125	32
Les petits "agriculteurs-éleveurs"	61	63	84	19
Les "producteurs marginaux"	19	39	43	15
Moyenne de la zone	78	145	161	90

Source : Enquêtes syst. past. IRA, 1990-1994.

Plusieurs facteurs expliquent cette augmentation des effectifs du cheptel parmi lesquels nous citons surtout :

La supplémentation qui devient une donnée structurelle de l'alimentation des animaux (75 à 90% des charges de l'élevage) et qui est pratiquée par la totalité des agropasteurs.

Le rôle croissant des quantités des produits et des sous-produits agricoles de l'exploitation (orge, paille, feuilles d'oliviers, grignon d'olives, foin local, etc.) dans l'alimentation des animaux.

L'amélioration des conditions d'élevage par : l'abreuvement, soins vétérinaires, construction de bergeries, etc.

En outre, l'élevage dans cette zone steppique bénéficie du soutien des revenus non-agricoles qui financent la transition du système d'élevage pastoral (lié à l'exploitation des parcours) vers un système d'élevage plus intégré à l'agriculture et au marché des aliments de bétail. Les revenus extérieurs procurent aux éleveurs les moyens financiers nécessaires pour faire face aux sécheresses périodiques en achetant des aliments de bétail et en louant des parcours ("achaba") à l'extérieur de la zone. La dynamique d'intégration entre l'élevage et l'agriculture qui touche l'ensemble des systèmes productifs est plus nette dans les exploitations des groupes, des "grands arboriculteurs", des "grands exploitants" et des "arboriculteurs émigrants" qui disposent d'une assiette foncière suffisante et d'importants revenus extérieurs. Cette intégration se traduit par des taux de couverture de la

supplémentation par des fourrages produits dans l'exploitation relativement importants 52 à 75%. Les sous-produits de l'arboriculture (grignon d'olives, feuilles d'oliviers, etc.) qui jouent un rôle important dans cette supplémentation, assurent l'intégration entre l'activité de l'élevage et de celle de l'agriculture.

Toutefois, dans les exploitations où le patrimoine arboricole devient important, une partie du cheptel est vendue en années difficiles pour sauvegarder les arbres fruitiers (travaux du sol, irrigation d'appoint, etc.), c'est le cas des exploitations des groupes des "arboriculteurs" où l'effectif moyen des arbres fruitiers a dépassé les 3000 arbres/exploitation. Par contre chez les "pasteurs traditionnels" où l'extension de l'arboriculture est plus tardive (par rapport aux autres groupes), la supplémentation des animaux reste basée sur le recours aux aliments achetés sur le marché puisque celle produite dans l'exploitation ne représente que 14% de la supplémentation. Ainsi, les dépendances des exploitations appartenant à ce système pour l'achat des aliments de bétail restent élevées ce qui constitue une des faiblesses de ce système. Néanmoins, une transition de ce dernier vers l'agro-pastoralisme (privatisation des terres des parcours collectifs, extension des plantations arboricoles et intensification du système d'élevage) a été constatée ces dernières années et semble marquer la fin de l'élevage pastoral dans sa forme traditionnelle.

Quant aux petits agropasteurs dont les moyens financiers et la propriété foncière sont limités, leur stratégie de reproduction est basée sur la valorisation de leur force de travail dont une partie est mobilisée dans le cadre des contrats de gardiennage des élevages de petits ruminants et même des camélidés ("khlata") et surtout de "mogharsa". En effet, au cours du suivi des exploitations à Neffatia, il a été constaté que la majorité des exploitants du groupe des "petits agropasteurs" ont pu étendre leurs superficies plantées grâce essentiellement aux contrats de "mogharsa" passés généralement avec des propriétaires absenteïstes.

3.4 Dynamique de l'environnement socio-économique des exploitations agro-pastorales.

Le contexte macro-économique ainsi que les politiques de l'Etat en matière de développement rural ont joué un rôle important dans l'évolution des milieux et des systèmes de production de cette zone agro-pastorale. C'est ainsi que la réouverture de la frontière tuniso-libyenne et l'intensification des échanges entre les deux pays à partir de 1988 ont eu un impact direct sur la zone de Neffatia. En effet, l'ouverture de la frontière a dynamisé le trafic sur la principale route nationale (GP1) qui relie les grandes villes tunisiennes à la frontière en passant par Neffatia. Des activités de commerce et de service destinées aux passagers de la route (restaurants, cafés, bouchers, petits commerces) se sont développées sur la route. Certains agropasteurs se sont même lancés dans des activités de change des devises et de vente de carburant importé de la Libye.

Cette dynamique commerciale frontalière a permis une importante augmentation des revenus non-agricoles des agropasteurs de Neffatia dont l'impact le plus apparent concerne la construction de plusieurs maisons et boutiques et l'achat de nouveaux tracteurs (15 tracteurs entre 1988 et 1994) et voitures (5 camionnettes et 10 voitures entre 1988 et 1994). La valeur des taxes collectées par la Municipalité de Ben-Guerdane (chef lieu de la Délégation, à 40 km au sud de Neffatia) sur les produits commercialisés dans les souks de la ville est le meilleur indicateur de cette dynamique commerciale. La valeur de ces taxes a évolué de 36.000 D.T en 1987 (avant l'ouverture de la frontière) à 1.000.000 D.T en 1992 (Rapport d'activités, Municipalité de Ben-Guerdane).

Parallèlement aux effets positifs de la frontière, la zone a bénéficié, entre 1990 et 1994, de nombreux programmes d'équipement et de développement agricole et rural entrepris par l'administration (électrification, téléphone, aménagement de routes et de pistes, création de points d'eau, plantations arboricoles, etc.). La réalisation de ces programmes a contribué au renforcement des dynamiques à l'oeuvre dans cette zone agro-pastorale dont l'activité pastorale ne représente plus, comme par le passé, la principale source de revenu de la population. En fait, la diversification des activités économiques dans ce milieu de tradition pastorale traduit parfaitement la fin de l'ancienne société pastorale et son intégration dans un système et un espace économiques plus larges dont les frontières dépassent celles de l'espace nationale.

Ce constat que nous avons déjà signalé à l'occasion de nos premières investigations sur le terrain (ABAAB, BEN ABED et NASR, 1992) a été bien confirmé par les résultats du suivi d'exploitations entrepris entre 1990 et 1994.

3.5 Itinéraires technico-économiques et dynamique de la typologie des systèmes de production

Grâce aux travaux de suivi d'exploitations, trois types principaux d'itinéraires techniques et socio-économiques ont pu être identifiés dans les exploitations agro-pastorales de la zone de Neffatia. Ces trois itinéraires résument à notre avis la dynamique globale des sept systèmes de production identifiés au moment du démarrage de notre recherche (ABAAB, BEN ABED et NASR, 1992):

Les "agropasteurs traditionnels" qui entament leur transition vers un système agro-pastoral productif où le partage tardif des terres collectives ouvre la voie à une mise en valeur agricole (arboricole) assez récente sont contraints à recourir à l'achat des aliments de bétail pour des élevages dont les effectifs ne baissent pas pour l'instant.

Les "grands et moyens agropasteurs" qui disposent de grandes plantations oléicoles installées assez tôt sur les anciens parcours ont largement entamé leur transition vers un système intégré associant les productions animales et végétales. Les disponibilités financières, entre autres celles de l'émigration, et l'étendu des terres privatives sont à l'origine de l'évolution du système productif de ces exploitations. Les manifestations les plus significatives de cette intégration concernent le rôle très important des produits et sous-produits agricoles dans la supplémentation des animaux (52 à 75%) (ABAAB et NASR, 1990). De même, l'intensification du système de conduite de l'élevage notamment par l'adoption de la brebis barbarine à queue fine, dont les exigences et les performances techniques sont plus adaptées à un système moins extensif, témoigne de l'évolution de ce système de production.

Les "agropasteurs marginaux" (petits propriétaires de terre et d'animaux), développent une stratégie "opportuniste" valorisant leur force de travail dans le cadre d'une multitude de contrats d'association avec les deux autres catégories d'agropasteurs : travail salarié pour divers travaux agricoles et non agricoles, association ("cherka") pour la production céréalière, association ("khlata") pour le gardiennage des animaux, "mogharsa" pour les plantations arboricoles, etc. Tout compte fait, nous constatons que cette catégorie appelée au départ de notre travail "marginale" a pu au cours de ces années du suivi, augmenter son capital foncier et arboricole, ce qui témoigne d'une part, du dynamisme de ces petits producteurs et d'autre part, de la mobilité sociale dans ces milieux agro-pastoraux.

3.6 La recherche participative en zone agro-pastorale : Impacts et enseignements

L'expérience de recherche participative entreprise dans le cadre de ce projet et qui a tenté d'introduire des améliorations techniques pour favoriser l'accroissement et la durabilité de la production agro-pastorale des zones steppiques nous a permis de tirer une série d'enseignements pour le développement des ces zones :

Les besoins en améliorations techniques de production agricole en zones arides (céréaliculture, oléiculture, élevage des petits ruminants et des camélidés, etc.) sont importants. Beaucoup de travail reste à faire pour accompagner et rationaliser la dynamique agricole et protéger des écosystèmes fragiles. Ce travail doit être entrepris dans le cadre d'une approche participative de recherche-développement.

La démarche participative est avant tout une question d'engagement mutuel entre partenaires : chercheurs, développeurs et producteurs au service d'un développement endogène orienté vers la résolution des problèmes concrets des populations concernées.

Dans le cadre de ce projet, la population a témoigné d'une réceptivité et d'un engagement remarquable dans les actions de développement (amélioration de l'alimentation et de la santé animale, introduction de béliers sélectionnés, construction de bergeries, équipement et aménagement de puits dans les parcours, etc.) entreprises dans la zone, dans la mesure où ces interventions répondent à leurs besoins immédiats.

Le rôle de la recherche est de suivre les dynamiques en zones steppiques et d'être à l'écoute des transformations en cours afin d'apporter les solutions recherchées non seulement pour résoudre les problèmes écologiques mais aussi pour le développement humain.

3.6.1 Amélioration des pratiques agro-pastorales

Suite aux mutations socio-économique qu'a connu la steppe maghrébine en général et celle de la Tunisie en particulier : sédentarisation des nomades et semi-nomades, privatisation des anciens parcours collectifs, extension de l'arboriculture, de la céréaliculture et des périmètres irrigués et généralisation de la mécanisation agricole, plusieurs problèmes de gestion des ressources se posent dans ces anciennes zones pastorales. Pour un développement durable des steppes en mutation, la recherche agricole doit se préoccuper d'avantage de l'amélioration des techniques agro-pastorales :

Le choix des espèces et des variétés fruitières, fourragères et céréalières qui seraient les mieux adaptées aux conditions des régions arides,

Le choix des techniques agricoles et des outils du travail du sol qui préservent l'environnement,

Le choix d'espèces et de races animales qui valorisent mieux les produits et les sous-produits des steppes,

L'amélioration des modes de conduite des animaux surtout que les parcours collectifs deviennent de plus en plus rares et dégradés,

L'amélioration des techniques de la maîtrise des eaux de ruissellement,

L'amélioration des techniques d'irrigation dans les oasis et les périmètres irrigués.

3.6.2. Valorisation des productions végétales et animales

Avec l'extension des zones mises en culture aux dépens des parcours, il serait intéressant pour les populations des zones steppiques, de valoriser au mieux les productions végétales et animales (circuit de distribution, stockage, conservation, transformation, etc.) et de chercher une meilleure intégration et complémentarité entre l'élevage et l'agriculture.

3.6.3 Promotion de l'emploi agricole et non agricole

L'analyse des systèmes de production en zone steppique et de la dynamique de leur environnement socio-économique, nous a permis de constater l'importance des revenus extra-agricoles dans le revenu familial global

des unités de production agro-pastorale (ABAAB, BEN ABED et NASR, 1992, NASR, 1993). Aussi, nous avons pu remarquer que les zones steppiques, à cause de l'amélioration des infrastructures de base (enseignement, santé, moyen de communication, etc.) sont devenues des régions d'accueil et des lieux de résidence des populations agricoles et non agricoles.

3.6.4 Elaboration des principes et des formes d'organisation permettant la mise en oeuvre et la gestion d'un développement participatif

Pendant longtemps la gestion des principales ressources en zones steppiques: ressources en eaux, parcours, etc., a été collective. Avec l'évolution économique et sociale qu'a connu les zones steppiques de nouvelles formes d'organisation sont entrain de se mettre en place (associations d'intérêts collectifs, conseils de gestion des terres collectives, etc.) ayant pour principal objectif de remplacer les anciennes formes d'organisation sociales. Cependant, nous avons remarqué à travers des études de cas que souvent, insuffisamment formées ou mal encadrées, ces organisations ne remplissent pas suffisamment leurs rôles.

Une recherche participative permettrait de concevoir les modes appropriés de gestion de ressources pour un développement durable des zones steppiques.

3.6.5 Conception de modèles d'aménagement agro-pastoral des zones steppiques

Plusieurs tentatives de modèles d'aménagement agro-pastoral ont été entreprises en zones steppiques qui se sont soldées partiellement ou totalement par des échecs. Les acquis des recherches en agro-pastoralisme dans les trois pays maghrébins (Algérie, Maroc et Tunisie) partenaires du programme de recherche-développement "systèmes pastoraux maghrébins" pourraient constituer la base d'un programme de recherche-développement pour appréhender, dans une approche interdisciplinaire et participative, les aspects d'optimisation de l'exploitation et de la gestion des ressources naturelles pour un développement durable des zones steppiques maghrébines. Enfin, la solution des problèmes écologiques ne peut être trouvée en dehors des dynamiques socio-foncieres à l'oeuvre. De même que l'adoption des techniques de réhabilitation de l'écosystème ne peut échapper aux contraintes économiques et sociales dont la maîtrise en milieu aride ne peut être assurée uniquement au sein de la sphère agricole. L'expansion démographique que connaissent les zones steppiques pose des problèmes d'emploi des jeunes. La recherche de la promotion de l'emploi agricole et non agricole permettrait de résoudre, en plus du problème de chômage, la pression sur l'environnement. En effet, compte tenu de la rareté des ressources naturelles et de la pression démographique en zone aride, le développement des activités non agricoles (services, commerce; industrie, artisanat) nous semble indispensable non seulement afin d'assurer une meilleure intégration économique des populations agro-pastorales mais aussi pour alléger la pression sur les ressources naturelles et pourquoi pas inverser le processus de leur dégradation.

3.7 Quels enseignements à tirer de la recherche comparée sur les steppes maghrébines?

Le projet de recherche développement sur les systèmes pastoraux maghrébins a permis aux trois équipes de chercheurs maghrébins de comparer les situations écologiques, économiques, sociales et socio-foncieres des steppes des 3 pays du Maghreb.

Les résultats des différents travaux réalisés dans le cadre de ce projet ont montré la similitude des évolutions en cours dans les steppes maghrébines : Accroissement du rôle de la supplémentation dans les élevages steppiques du bétail, les problèmes fonciers et écologiques, importance des revenus non agricole, le besoin d'un développement économique diversifié afin d'alléger la pression sur les ressources naturelles en zones steppiques, etc. Toutefois, en Tunisie, ces évolutions et les problèmes qui en découlent semblent être accélérés par rapport aux deux autres pays avec comme cause principale la privatisation des terres collectives. Il serait donc souhaitable d'adopter une approche régionale pour résoudre les problèmes des zones steppiques tout en tirant des enseignements des expériences des politiques de développement des trois pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abaab A. et Nasr N., (1988) : Limites de la complémentarité agriculture-élevage. Actes de l'atelier national sur les acquis de l'expérience tunisienne en matière d'aménagement pastoral. IRA Médenine, 1-3 décembre 1988, pp: 190-202
- Abaab A. et Nasr N., (1990) : Mutations des systèmes agro-pastoraux et désertification en zone aride: cas de la Jefara du sud-est tunisien, séminaire international sur les processus de désertification. Lanzhou (Chine). 25/6-3/7/1990, 24 p.
- Abaab A, Ben Abed M.A et Nasr N. (1992) : Dynamique des systèmes de production en zone agro-pastorale du sud-est tunisien (cas de Neffatia). Revue des Régions Arides., n°3 pp : 3-44.
- IRA et CRDI. (1989) : Diagnostic physique et socio-économique de la zone de Neffatia. Rapport du projet systèmes pastoraux maghrébins. 120 p.

IRA et CRDI. (1994) : Rapport technique et financier de la deuxième phase du projet systèmes pastoraux maghrébins-Tunisie-. 34 p.

Municipalité de Ben-Guerdane : Rapports annuels des activités de la municipalité.

Nasr N., (1993) : Les systèmes agraires et les organisations spatiales en milieu aride: cas d'El-Ferch et du Dahar de Chénini-Guermessa (Gouvernorat de Tataouine). 271p et annexes. Thèse de Doctorat nouveau régime. Université Paul Valéry, Montpellier III ; France.

DYNAMIQUE SOCIALE ET DESERTIFICATION : le cas de Menzel Habib dans le sud tunisien

AUCLAIR Laurent*, CHAIZE-AUCLAIR Marianne**,
DELAITRE Eric*, SANDRON Frédéric*

RESUME

La délégation de Menzel Habib, en zone présaharienne, a connu un processus spectaculaire de désertification. Les images-satellites disponibles sur la zone permettent de circonscrire un épisode aigu du milieu des années 70 à la fin de la décennie 80. L'origine anthropique du phénomène a été soulignée, là comme ailleurs, par de nombreuses études, et les causes générales identifiées : pression démographique, progression des superficies cultivées, surpâturage et éradication des ligneux.

L'analyse des données disponibles concernant la pluviométrie, le peuplement (évolution démographique et sédentarisation), les statuts fonciers et l'utilisation du sol permettent de mettre en relief, dans l'«épisode» de désertification intense, le rôle de la « course à la terre » déclenchée en 1974 par la mise en œuvre d'une politique vigoureuse de privatisation des terres collectives. L'amélioration de la situation actuellement observée pourrait être due, outre le retour à des conditions pluviométriques plus favorables et à l'impact des projets de protection et réhabilitation de l'environnement mis en œuvre, à des changements dans les stratégies foncières et productives des acteurs.

SUMMARY

Menzel Habib delegation, in the presaharian area, suffered a great process of desertification. Satellite images available for this area show an acute episode from the middle of seventies to the end of eighties. The anthropic origin of the phenomenon have been emphasised, here and there, by many studies, and the general causes identified : demographic pressure, progression of the cultivated surfaces, overuse of the pasture land and elimination of the ligneous plant.

We examined available data about pluviometry, population (demographic evolution and sedentarization), land tenure statuts and ground use. this analysis can inhance, in this intense desertification episode, the importance of strong measures of common land privatisation implementation from 1974. The improvement of the situation we observed could be interpreted as a result of better pluviometric situation and effects of environmental rehabilitation and protection measures but also as a change in the strategies about land tenure and production.

INTRODUCTION

La délégation de Menzel Habib dans le gouvernorat de Gabès correspond à la partie nord de l'ancien territoire agro-pastoral de la tribu Beni Zid. Située en zone bioclimatique aride inférieur, cette région présaharienne est caractérisée par une pluviométrie faible et irrégulière (170 mm en moyenne par an). A l'instar du sud tunisien dans son ensemble, Menzel Habib est le théâtre de la transformation profonde du rapport des populations à leur territoire en relation avec le déclin du genre de vie nomade au cours de la période coloniale puis après l'indépendance. A la fin du siècle dernier, la tribu Beni Zid comptait, selon les estimations de A. Martel (1964), près de 19 000 habitants dont un quart résidaient en permanence dans l'oasis d'El Hamma, située au centre géographique de l'espace Beni Zid (voir carte); les trois quarts de la population pouvaient alors être qualifiés de semi-nomades. Habitant sous la tente la plus grande partie de l'année, ils pratiquaient l'élevage sur parcours associé à une céréaliculture épisodique *en sec*. L'extension des labours, localisés principalement sur les terres de culture les plus favorables du point de vue du bilan hydrique (*garaa, segui*) était en outre étroitement dépendante des conditions pluviométriques. La complémentarité des ressources agricoles (oasis d'El Hamma et

* Chargé de recherches à l'ORSTOM Tunis

** Doctorante (Université d'Aix-Marseille / URBAMA (Tours))

* Chargé de recherches à l'ORSTOM Tunis

* Chargé de recherches à l'ORSTOM Tunis

cultures en sec) et des ressources pastorales de la steppe fondait, dans le contexte d'un fort aléa pluviométrique, un mode d'exploitation basé sur la mobilité et l'appropriation communautaire des ressources pastorales. Aujourd'hui, la population de l'ancien territoire Beni Zid compte environ 70 000 habitants sédentaires¹ dont près des deux tiers résident à El Hamma (INS 1994). L'essor démographique, la sédentarisation d'agro-pasteurs des fractions Beni Zid dans la zone steppique de Menzel Habib et le début d'urbanisation de celle-ci, la progression de l'économie marchande et la montée en puissance de l'Etat aménageur sont classiquement avancés pour interpréter la dynamique sociale et la transformation de l'espace régional.

1977-1987 : un épisode aigu de désertification à Menzel Habib

Menzel Habib est caractérisé par la prépondérance de sols sableux épais, dotés d'une bonne capacité de rétention en eau, mais particulièrement sensibles à l'érosion éolienne après défrichage de la steppe à *Rhanterium suaveolens* et mise en culture. La région est caractérisée en outre par de faibles ressources hydriques souterraines limitant les possibilités d'irrigation. Dans ce contexte, la progression des cultures céréalières et des plantations arboricoles aux dépens de la steppe, le surpâturage et l'éradication des espèces ligneuses autour des lieux de sédentarisation sont à l'origine d'un processus spectaculaire de désertification, abondamment décrits par les scientifiques (Floret et al., 1977, 1978, 1986, 1991). Dès les années 1970, une partie de la zone (le périmètre de Zougrata) fait l'objet d'études écologiques poussées dans le cadre du projet « parcours sud ». Au début des années 1980, la route Gabès-Gafsa, régulièrement coupée par le sable, conduit l'Etat à intervenir par la mise en oeuvre d'un important programme d'aménagement et de réhabilitation. Aujourd'hui, la délégation de Menzel Habib constitue une référence essentielle concernant l'aménagement et le développement durable du sud tunisien (Abaab et Chassany, 1993). La zone figure parmi les principaux *sites-observatoires de la désertification*ⁱⁱ en Tunisie.

L'analyse des images satellite (12 images MSS du satellite Landsat disponibles entre 1972 et 1993) permet de préciser l'évolution de la désertification à partir du changement des états de surface au cours des deux dernières décennies. Afin de mettre en évidence l'évolution du processus de désertification, les images ont été corrigées géométriquement et intercalibrées radiométriquement grâce à des mesures faites sur des objets dont les signatures spectrales varient peu. Cette série d'images montre clairement que :

* Le couvert végétal naturel constitué par une steppe de ligneux bas ou de graminées présente une différenciation spatiale importante pour la zone d'étude. Dès 1972, il existe des zones de couleur claire sur l'image, caractérisées par une couverture végétale très réduite.

* De 1977 à 1987, la disparition du couvert végétal spontané se traduit sur les images par l'extension croissante des plages de couleur claire, lesquelles correspondent à des zones de très faible couvert végétal laissant apparaître sur de grandes surfaces le substrat sablo-argilo-gypseux. Par contre, le reste du paysage et en particulier les zones de fort relief semblent invariants.

* Entre 1987 et 1993, le couvert végétal revient sur une surface presque aussi importante qu'en 1975.

Si l'on se réfère à l'évolution de l'indicateur de désertification choisi (la réflectance des zones caractérisées par un très faible couvert végétal), le processus de désertification apparaît à Menzel Habib nettement circonscrit dans le temps. La période 1977 - 1987 est caractérisée par l'extension croissante et maximale des zones dépourvues de végétation naturelle. En 1993, une amélioration sensible du couvert végétal est perceptible.

Dans le cadre de cette communication, nous nous attacherons à apporter des éléments de réponse à la question suivante : **Quels sont les facteurs, physiques ou humains, qui permettent d'expliquer l'apparition d'un tel épisode de désertification au cours de la période 1977-1987 à Menzel Habib ?** Si les facteurs directs de la désertification sont identifiés dans le sud tunisien et à Menzel Habib en particulier (progression des mises en culture aux dépens des parcours, surpâturage et éradication des ligneux), il semble intéressant de replacer ces pratiques dans le contexte climatique et social des dernières décennies. Pour ce faire, nous analyserons les données chronologiques disponibles dans les trois domaines suivants : pluviométrie, démographie et statut foncier.

A la période relativement pluvieuse de la décennie 70 succède la sécheresse des années 80

L'analyse de la pluviométrie concerne les données de la station de Gabès. Pour la période 1970-1993, la hauteur moyenne annuelle des précipitations s'élève à 187 mm avec une variabilité interannuelle très forte puisque le minimum observé est de 100 mm (1989) et le maximum de 430 mm (1975) (cf. figure 2).

Les résultats d'une étude portant sur 75 années complètes d'observation pluviométriques à Gabès ont été publiés en 1978 (Floret et al., 1978). Dans ce document, les auteurs définissent quatre types d'année pluviométrique :

1. une année sèche avec moins de 100 mm
2. une année moyennement sèche entre 100 et 150 mm
3. une année moyennement pluvieuse entre 150 et 250 mm
4. une année pluvieuse avec plus de 250 mm

Sur cette base, on peut mettre en évidence deux tendances climatiques entre 1970 et 1993 :

- une tendance humide nettement marquée avec 8 années consécutives moyennement pluvieuses à pluvieuses de 1971 à 1978. Au cours de cette période, 3 années sont pluvieuses dont deux consécutives (1975 et 1976).

- une tendance sèche de 1979 à 1993, avec l'alternance presque parfaite entre une année moyennement sèche et une année moyennement pluvieuse. En 14 ans, seules deux années sont supérieures à 250 mm. La moyenne annuelle reste cependant toujours supérieure à 100 mm. Le minimum annuel de 39 mm indiqué par Floret et al. (1978) pour 1946-47 n'a donc pas été atteint, et de loin. Cette période sèche recouvre presque complètement celle de dégradation des états de surface mis en évidence par la télédétection (1977-1987).

Ces données indiquent une tendance à l'assèchement de la période actuelle par rapport aux années 1971-1978 sans qu'il faille parler de catastrophe naturelle. En effet, une année sur deux reste moyennement pluvieuse jusqu'en 1990. Cette tendance est interrompue au cours de la période 1991-1993, caractérisée par la succession de 3 années moyennement sèches. Un tel phénomène n'est cependant pas exceptionnel. Il s'est produit à deux reprises au cours de la période étudiée par Floret et al.. Il est frappant de constater que c'est lorsque la tendance sèche semble s'aggraver (1991-1993) que les images de télédétection montrent une amélioration sensible des états de surface.

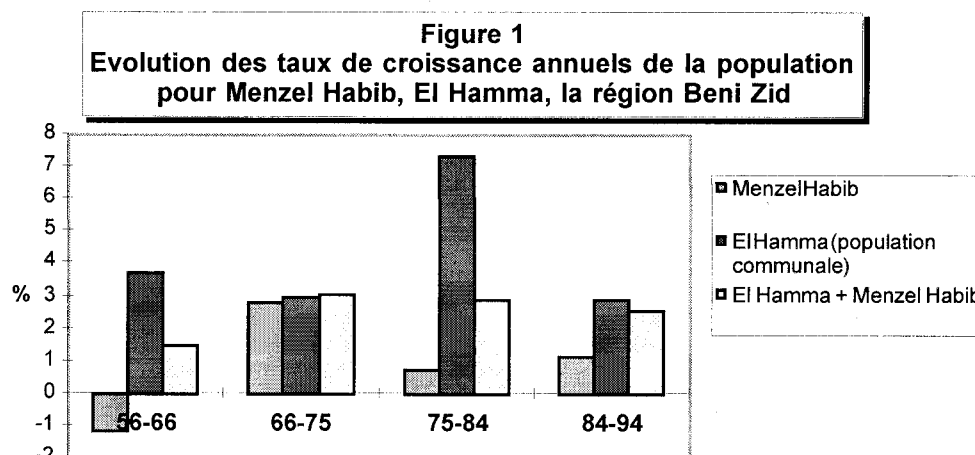
Une croissance démographique globalement faible, des taux d'accroissement variables

Deux problèmes particuliers rendent difficile l'étude précise de la dynamique de la population sur le territoire de l'actuelle délégation de Menzel Habib. Il s'agit d'abord des changements successifs concernant les limites administratives. La délégation de Menzel Habib est créée en 1982 par scission de l'ancienne délégation d'El Hamma, laquelle correspondait à peu près au territoire Beni Zid. La comparaison avec les données antérieures n'est possible qu'en agrégeant les chiffres des *Cheikhats* (recensement de 1956ⁱⁱⁱ) et des *imadas* (recensements de 1966 et 1975^{iv}) correspondant au nord du territoire Beni Zid. Il faut noter de plus qu'entre les deux derniers recensements, l'*imada* d'El Mida a rejoint la délégation de Metouia. La deuxième difficulté réside dans la mobilité de la population car, si le genre de vie nomade ou semi-nomade a quasiment disparu, de nombreux ménages disposent de plusieurs résidences et se déplacent fréquemment de l'une à l'autre en fonction de leurs activités. De nombreux propriétaires et ayants droits sur les terres de Menzel Habib résident dans l'oasis d'El Hamma ou à Gabès et ne séjournent que périodiquement dans la délégation^v. A l'inverse, des ménages résidant à Menzel Habib possèdent des terres dans la délégation d'El Hamma. Ces deux difficultés (limites administratives fluctuantes, polyrésidence) exigent de prendre les statistiques démographiques avec précaution. La permanence de certaines complémentarités à l'intérieur de l'ancien territoire de la tribu Beni Zid - il s'agit du cadre socio-spatial dans lequel s'est structuré l'appropriation et le contrôle de l'accès à la terre - nous empêchent de considérer la délégation de Menzel Habib en tant qu'entité sociale et spatiale indépendamment de la région Beni Zid dans son ensemble. C'est pourquoi, nous incluons dans cette analyse démographique la délégation d'El Hamma.

La population résidant à Menzel Habib a vu son effectif progresser de 36 % depuis l'indépendance, ce qui correspond à un taux moyen d'accroissement annuel de 0,8 % entre 1956 et 1994. Il apparaît difficile de conclure que la délégation de Menzel Habib, principalement rurale, ait connu une explosion démographique depuis l'accession à l'indépendance, d'autant que la création de la délégation en 1982 a amené de nouveaux résidents au chef lieu, avec notamment la création d'emplois dans la fonction publique et les services. La densité rurale est passée de 8,6 habitant / km² en 1956 à 11,7 habitant / km² en 1994. Les figures 3 et 4 montrent que le croît démographique de la région Beni Zid a principalement profité à l'oasis d'El Hamma qui voit sa population communale multipliée par un facteur 5 (un taux moyen d'accroissement annuel de 4,2 % au cours de la même période^{vi}). On peut donc affirmer que la sédentarisation des agro-pasteurs Beni Zid a concerné principalement El Hamma au détriment des régions steppiques périphériques. Le poids démographique de Menzel Habib par rapport à l'ensemble Beni Zid ne cesse de décroître, passant de 35,2 % en 1956 à 19 % en 1994. Il faut noter cependant que la zone rurale située au sud de la délégation d'El Hamma (Oglet Merteba) a vu chuter son poids démographique entre 1956 et 1975 beaucoup plus rapidement que Menzel Habib (Baduel, 1984).

Les taux de croissance de la population présentent cependant des différences très notables selon les périodes intercensitaires (figure 1), confirmant l'hypothèse de Abaab et Chassany

(1993) qui suggèrent la succession de trois phases démographiques. Entre 1956 et 1966, le taux de croissance annuel de Menzel Habib est négatif (-1,1 %), ce qui semble indiquer une période de départ et de sédentarisation à El Hamma qui connaît une croissance importante (+3,7 %).



Source: INS 1956, 1966, 1975, 1984, 1994

Entre 1966 et 1975, on constate une importante phase de sédentarisation à Menzel Habib avec un taux de croissance très élevé pour une zone rurale (+2,8 %) et voisin de celui d'El Hamma (figure 7). Cette période correspond à des conditions pluviométriques relativement favorables et, nous le verrons par la suite, au début de la course à l'appropriation de la terre qui caractérise la fin de la période coopérativiste et la décennie 1970. Le petit *boum* démographique de Menzel Habib entre 1966 et 1975, + 2448 habitants, a probablement pour conséquence une pression accrue sur le milieu, l'extension des labours et l'intensification des prélèvements sur la steppe (pâturage, combustibles ligneux).

De 1975 à 1984, Menzel Habib est caractérisé par une faible croissance de sa population (+ 0,7 %) en dépit de la création de la nouvelle délégation, alors qu'El Hamma connaît une croissance record (+ 7,3 %). La sécheresse a frappé la zone au début des années 1980, entraînant le ralentissement considérable de la croissance et le départ de certains ruraux vers El Hamma. Entre 1984 et 1994, une certaine reprise démographique est perceptible (+1,2 %) en relation peut être ici encore, avec l'amélioration des conditions pluviométriques en 1990. D'une manière générale, une corrélation positive entre pluviométrie et taux de croissance de la population peut être mise en évidence. Elle suggère l'importance de l'agriculture et de l'élevage comme base de l'économie à Menzel Habib et montre la dépendance de ces activités vis à vis de l'aléa climatique, lequel conserve un effet régulateur important sur le peuplement. Autrement dit la population, face à des conditions climatiques difficiles, semble continuer de répondre par la mobilité. L'héritage du nomadisme est toujours présent.

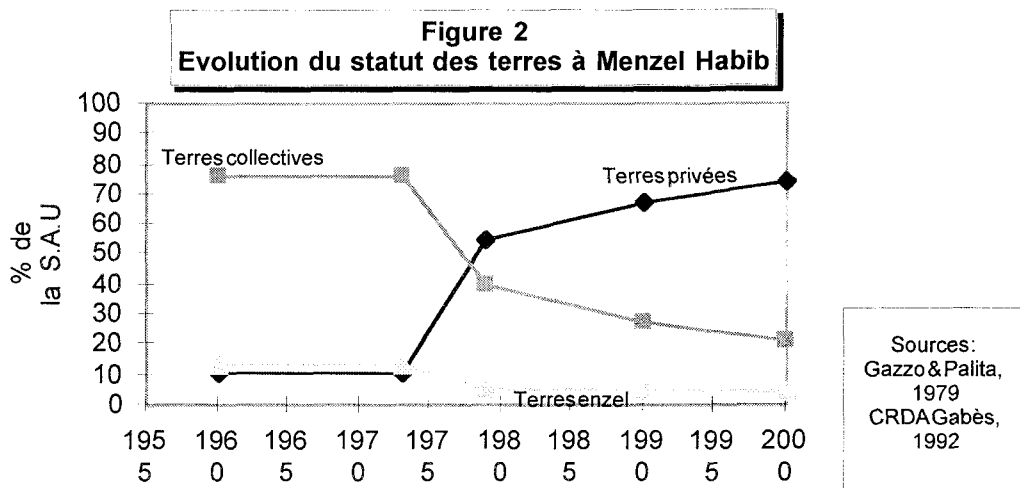
La course à la terre : labourer pour approprier plutôt qu'approprier pour labourer

A l'époque précoloniale, les modes d'appropriation coutumiers de la terre sont dominants dans les sociétés tribales du sud tunisien. Ils sont caractérisés, schématiquement, par l'appropriation communautaire des parcours et par l'attribution périodique des terres de culture selon des modalités propres à chaque groupe tribal. Chez les Beni Zid, le juge Dumas révèle en 1912 que de nombreuses terres font l'objet d'un titre de propriété postérieur au XVIII^{ème} siècle, lequel attribue un territoire délimité aux descendants d'un ancêtre ou d'une famille plus ou moins large. En 1902, lors de la délimitation des terres selon leur statut par l'administration coloniale, les terres faisant l'objet d'un titre de propriété seront tantôt classées dans le statut collectif, tantôt dans le statut privé à la demande des intéressés, indépendamment de leur utilisation effective (parcours, terres de culture). Il semble que la crainte d'une dépossession par l'Etat colonial ait amené les communautés à revendiquer plutôt un statut collectif pour leurs terres (Dumas, 1912 et Baduel, 1984). Cette situation suggère, pour les Beni Zid, un processus de détribalisation amorcé dès le siècle dernier, caractérisé par une dynamique centrifuge des fractions et lignages Beni Zid accompagnant une tendance à la jouissance exclusive de la terre par des groupes familiaux de plus en plus restreints. Quoiqu'il en soit, cette tendance s'est fortement amplifiée au cours de ce siècle, et en particulier depuis l'indépendance.

Au début du siècle, les trois quarts du territoire Beni Zid était constitué par des terres de statut collectif (Housset, 1938). Cet ordre de grandeur est valable pour Menzel Habib. Sur le périmètre de Zougrata en 1902, les terres collectives représentaient 76 % de la Surface Agricole Utile (S.A.U) (Gazzo et Palita, 1979). Les terres de statut privé recouvraient alors 10 244 ha à Menzel Habib, soit 10,7 % de la S.A.U; les terres du habous de Sidi

Mehedeb couvrant 12 520 ha, soit 13,1 %. Cette situation restera stable du point de vue des statuts jusqu'au début des années 1970. Mais si les statuts restent inchangés, on assiste, notamment à partir des années 60, à l'extension des labours en dehors des terres privées (Floret et al., 1986). De nombreux témoignages rapportent que les appropriations individuelles ont tendance à se pérenniser sur des terres de statut collectif, créant des situations de fait.

Il faut attendre la loi n° 71-7 du 14 janvier 1971, laquelle complète la loi de juin 1964 fixant le régime des terres collectives, et surtout la circulaire datée de mai 1973 instaurant une procédure accélérée d'attribution privative des terres collectives (sans levée parcellaire) pour voir la situation foncière évoluer très rapidement. Il suffit désormais pour un ayant droit de mettre en valeur la terre, c'est à dire de la cultiver ou planter et d'avoir le témoignage bienveillant du voisinage pour obtenir dans des délais relativement courts un titre de propriété. Le résultat de cette politique de *liquidation*, pour reprendre l'expression de P. R. Baduel, est considérable. En 5 ans, l'Etat attribue privativement dans le gouvernorat de Gabès 190 000 ha de terres collectives, situées principalement sur le territoire Beni Zid. Pour Menzel Habib, on estime à environ 50 000 ha la superficie de terres collectives et enzel qui sont privatisées entre 1974 et 1980^{vii}, soit près de 50 % de la S.A.U. En vingt ans, il s'est donc produit une inversion considérable de la situation foncière. Les terres privées représentent aujourd'hui 67,5 % de la S.A.U de Menzel Habib, contre 10,7 % en 1970; les terres collectives qui représentaient à cette date 76 % de la S.A.U n'en représentent plus que 27,2 % en 1990 et seulement 21 % après achèvement de l'apurement foncier prévu en 1997 (cf. figure 2).



Une évolution foncière aussi rapide ne peut être sans conséquence sur l'utilisation de la terre, encore convient il de prendre quelques précautions et ne pas confondre terres privées et terres mises en culture, terres collectives et terres de parcours. On sait que l'aléa pluviométrique est à l'origine d'une variation interannuelle considérable des surfaces cultivées en sec en région présaharienne. D'autre part, des raisons historiques ont conduit, nous l'avons vu, à l'immatriculation de terres régulièrement cultivées sous le statut collectif. En 1990, seuls 16 400 ha sont cultivés à Menzel Habib alors que les terres privées et immatriculées représentent plus de 64 000 ha. L'évolution de l'utilisation de la terre, déterminante pour juger de l'étendue des défrichements et des mises en culture, s'avère difficile à suivre faute de données régulières et homogènes. Cette lacune pourrait être comblée dans l'avenir par le suivi par télédétection de l'occupation des terres. La comparaison de quelques chiffres disponibles suggère toutefois une évolution riche de conséquences. La comparaison de deux couvertures aériennes de la zone de Zougrata permet de constater que les superficies emblavées sont passées de 13 % du périmètre en 1946 à 45 % en 1975, année pluvieuse (Unesco, 1977 cité par Baduel, 1984). Paul Pascon constatait pour le Maroc : « *La paysannerie durant les cinquante dernières années a donné plus d'importance à la production céréalière qu'à la production de viande, d'abord parce qu'une partie importante de l'alimentation des couches défavorisées est plutôt à base de céréales que de mouton, mais surtout parce que la culture permet de mieux approprier le sol que le bétail* » (cité par Baduel, 1984). Or en 1990, autre année pluvieuse, les superficies cultivées ne représentent à Menzel Habib que 14 % de la superficie totale (Floret et al., 1991). Cette observation, si elle est confirmée, montre une réduction notable des superficies labourées depuis les années 1970, pour des conditions climatiques comparables, alors que les terres privées ne cessent de croître en proportion et en superficie. Cette évolution montrerait un changement important dans les stratégies foncières et productives des acteurs. Nous suggérons qu'une fois l'appropriation de la terre réalisée (70 % des terres privatisables ont été attribuées dans les années 70), il n'est plus nécessaire pour les exploitants de prouver par le labour ou la plantation

la vivification d'une terre collective, d'où la moindre extension des labours dans les années 80 et 90, caractérisées il est vrai par des conditions pluviométriques globalement défavorables.

La procédure de privatisation accélérée et celle de dissolution des terres enzel tentaient au départ de réconcilier usage et statut dans la mesure où la propriété est attribuée à l'ayant droit qui met en valeur une terre collective ou enzel^{viii}. Très vite cependant, les autorités se font déborder par les ayants droits des terres collectives, lesquels défrichent et cultivent des superficies considérables dans les années 1970 dans le but d'approprier la terre. C'est bien cette course à l'appropriation, amorcée dans les années 1960 mais amplifiée considérablement par la mise en oeuvre, à partir de 1974 à Menzel Habib, de la procédure accélérée de privatisation, qui va conduire à l'extension importante des labours et des plantations au cours de la décennie 1970.

Conclusion:

L'épisode de désertification à Menzel Habib entre la fin des années 70 et la fin des années 80 apparaît lié à la convergence de plusieurs facteurs, au premier rang desquels nous plaçons sans conteste « la course à la terre » amplifiée considérablement en 1974 par l'application de la procédure rapide de privatisation des terres de statut collectif. Cette course à l'appropriation, amorcée dès la fin des années 60, est probablement à l'origine du relatif *boum* démographique observé entre 1966 et 1975, lequel s'accompagne d'une pression accrue sur le milieu (des familles Beni Zid s'installent à Menzel Habib dans le but de vivifier la terre pour marquer l'appropriation). Au cours de la décennie 70, l'instauration de la procédure accélérée s'accompagne de l'extension considérable des superficies cultivées et plantées, en particulier sur les sols sableux particulièrement sensibles à l'érosion éolienne, aux dépens des parcours steppiques à *Rhanterium suaveolens*. Tenant peu compte des conditions édapho-pédologiques, ces défrichements et mises en culture destinées non à produire mais à approprier la terre ont conduit au développement rapide de la désertification. En 1978, il ne subsistait de groupements pastoraux en bon état que sur environ 7,9 % de la superficie de la zone test de Zougrata (Floret et al., 1978). L'extension des labours a été permise par la généralisation de l'usage du tracteur équipé de charrues polydisques alors que la région jouit de conditions pluviométriques favorables (la période humide de 1971 à 1978). Par la suite, la décennie 80, caractérisée par la récurrence d'années sèches, verra la dégradation rapide des états de surface traduisant la disparition du couvert végétal et la dégradation des sols sableux en proie à une érosion éolienne intense. Il faut constater le décalage dans le temps entre ces deux phénomènes. La période d'extension maximale des labours précède la période de désertification, laquelle est favorisée par le retour de la sécheresse. Comme le faisait remarquer judicieusement Floret et Pontanier (1986), « le climat ne peut être tenu pour facteur principal de la dégradation mais il reste un facteur aggravant ».

Synthèse chronologique des données

L'amélioration de la situation écologique observée sur l'image de 1993 en dépit de conditions pluviométriques défavorables pourrait être due, outre l'impact de l'important projet de protection et réhabilitation de l'environnement mis en oeuvre à Menzel Habib, à des changements dans les stratégies foncières et productives des exploitants. A ce titre, la mise en oeuvre d'un suivi par télédétection de l'occupation des terres devra confirmer la tendance à la régression des surfaces emblavées liée au fait que la terre, une fois appropriée, ne recouvre pas les mêmes enjeux. Après la domination des stratégies foncières par rapport aux stratégies productives, n'assiste-t-on pas à un renversement de tendance ? Une autre question s'impose : l'amélioration constatée sur l'image de 1993 procède-t-elle d'une amélioration durable de la situation écologique ou bien d'une période de répit précédant un nouvel épisode de désertification ? Cette problématique ouvre de nouvelles perspectives pour une recherche pluridisciplinaire dans le cadre de l'observatoire DYPEN de Menzel Habib.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abaab A., Chassany J-P (1993) : Etude de l'impact des actions de développement et de lutte contre la désertification. Evaluation de la mise en place des observatoires de Bir Amir, Menzel Habib et R'jim Maâtoug. Projet TUN 88/04, compte rendu de mission, 19 p.
- Archives du service des domaines des affaires foncières de Gabès (1902) : Procès-Verbal de délimitation des terres collectives de l'Arad, Contrôle civil de Gabès, 108 p.
- Baduel P.R. (1984) : « L'intégration nationale de pasteurs pré-sahariens (Tunisie) » - p. 393-420, in : *Enjeux sahariens*. - Paris : CNRS.-

- Dumas P. (1912) : Les populations indigènes et les terres collectives de tribu - Tunis.
- Floret C., Le Floc'h E., Pontanier R., Romane F (1978): Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement agro-pastoral des régions arides. Application à la région de Zougrata. IRA, Medenine ; Dir. Ress. Eau et Sol. Tunis ; Doc. techn. n°2, 74 p.
- Floret C., Le Floc'h E., Pontanier R., (1986) : La désertisation en Tunisie présaharienne. In ROMM 41-42, Désert et montagne au Maghreb, Hommage à Jean Dresh. Edisud : 291-326.
- Gazzo Y. et Palita D. (1979) : Présentation humaine et foncière du périmètre de Zougrata. - 45 p, 5 cartes h. texte, Projet FAO TUN 78 07 - République Tunisienne.
- Housset L. (1938) : Le statut des terres collectives et la fixation des indigènes en Tunisie. Paris, librairie technique et économique, 324 p.
- Institut National de la Statistique, recensement général de la population et de l'habitat, années 1994, 1984, 1975, 1966 et 1956.
- Martel A. (1964) : Les confins saharo tripolitains de la Tunisie (1881-1911).- 2 T. Paris - PUF.

ⁱ la population nomade est aujourd'hui résiduelle

ⁱⁱ Notamment le programme DYPEN (Dynamique des populations et environnement) conduit, dans le sud tunisien, par des chercheurs de l'Institut des Régions Arides et de l'ORSTOM et le programme « Veille Satellitaire de la désertification » (C.N.T / ORSTOM).

ⁱⁱⁱ Cheikhats de Chaal, Chiab, Kherja, Matmat

^{iv} Imadas d'Essegui, Oued Ezzitoun, Rabia

^v En 1979, sur les 3600 familles ayants droit sur le périmètre de Zougrata, 50 % seulement résident sur place (Gazzo et Palita, 1979).

^{vi} Le croît serait encore plus important si l'on considérait les secteurs périurbains non inclus dans la population communale.

^{vii} En extrapolant les chiffres cités par Gazzo et Palita (1979) pour le périmètre de Zougrata à la délégation de Menzel Habib.

^{viii} On a vu que de nombreuses terres collectives étaient appropriées de fait et cultivées plus ou moins régulièrement avant les années 1970.

RAPPORT FINAL

SEMINAIRE INTERNATIONAL "ACQUIS SCIENTIFIQUES ET PERSPECTIVES POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE DES ZONES ARIDES"

Rapporteurs :

- Professeur Noureddine AKRIMI
- Professeur Pierre ROGNON

SEANCE INAUGURALE

Le séminaire international "*Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides*" organisé par l'Institut des Régions les 5,6 et 7 décembre 1996 a été inauguré par le Professeur **Mongi SAFRA**, Secrétaire d'Etat auprès du Premier Ministre chargé de la Recherche Scientifique et de la Technologie en présence de Monsieur le Gouverneur de Medenine, des représentants des organismes internationaux partenaires de l'Institut des Régions Arides: UNESCO, CIHEAM, ICARDA, ORSTOM, Ambassade du Royaume de la Belgique, OSS et des organismes nationaux : Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, IRESA, AVFA.

Après une allocution de bienvenue du Président-Directeur Général de l'I.R.A., chacun des représentants a rappelé les liens de coopération que son organisme entretient avec l'IRA et évoqué les perspectives de collaborations futures.

Monsieur le Secrétaire d'Etat a ensuite pris la parole pour souhaiter la bienvenue à tous les participants en remerciant tous les organismes nationaux et internationaux qui ont apporté une aide au séminaire, il a indiqué que la dégradation et la désertification constituent un problème d'envergure mondiale touchant à des aspects vitaux du développement durable et de sécurité. Il a rappelé quelques réalisations accomplies par la Tunisie pour illustrer l'effort national dans le domaine de développement des zones arides et de lutte contre la désertification et la participation active de la Tunisie à l'élaboration des différentes conventions internationales concernant ce domaine. Il a également rappelé les diverses contributions de l'I.R.A à ces réalisations et a conclu en exprimant le souhait de la Tunisie de renforcement et de multiplication d'initiatives de rencontres, d'échanges et de coopération pour la mise en oeuvre des recommandations du Sommet de la Terre de Rio et de la Convention Internationale de Lutte contre la Désertification.

Au total 180 participants ont assisté au séminaire (140 tunisiens dont 36 appartenant à l'I.R.A et 40 invités étrangers). Une cinquantaine de communications scientifiques ont été représentées, près de 60 questions ont été posées aux divers intervenants au cours de 6 sessions thématiques du séminaire qui ont été précédées par une séance introductive et conclues par une séance consacrée aux perspectives et aux recommandations.

SEANCE INTRODUCTIVE

Au cours de la séance introductive présidée par Monsieur Ch. FEZZANI, Monsieur KHATTELI a présenté l'organisation du séminaire puis Monsieur CHAABOUNI a précisé les orientations du IX^e Plan pour la Recherche et la Technologie ; il a insisté sur la nécessité d'une adaptation des Etablissements de Recherche à la demande du secteur productif et a rappelé les dispositions de la nouvelle loi d'organisation de la recherche scientifique qui faciliteront cette adaptation.

Ensuite Monsieur AKRIMI a présenté l'approche méthodologique adoptée en Tunisie en matière d'Aridologie et de lutte contre la désertification, a rappelé les principaux thèmes de recherche développés par l'I.R.A et a recommandé la prise en compte de certains thèmes nouveaux et essentiels pour le développement des zones arides tels que l'hydrogéologie, les énergies renouvelables ...

Enfin Monsieur SKOURI a retracé l'historique de l'I.R.A en rappelant les événements marquants qui ont jalonné les vingt années d'existence de l'Institut et en soulignant la continuité de la politique scientifique menée par les Présidents-Directeurs Généraux successifs de cette institution.

SESSION 1: DEGRADATION DES MILIEUX ARIDES ET PREDESERTIQUES

Président : M. SKOURI

Rapporteurs : Colonel A. MEFTAH et M. TALBI

Le problème général de la désertification posé au cours de cette session à travers huit communications qui en montrent la complexité est présenté par Messieurs, CHAHBANI, CHAKROUN, HAMROUNI, FERCHICHI, KARDOUS, MTIMET, ROGNON et TALBI.

Le facteur climatique est présenté à partir de l'exemple de l'irrégularité des précipitations, un nouvel indice est proposé pour subdiviser les étages bioclimatiques arides et sahariens et pour mieux caractériser le rôle du climat sur la végétation. Ce rôle est illustré ensuite par l'exemple de la nette transgression des taxa sahariens vers la zone aride, preuve de dégradation des formations végétales et de leur composition floristique. Celle-ci, à son tour, entraîne la dégradation des sols et une perte estimée à 23 000 ha en Tunisie, ce qui pose le problème crucial du développement durable et d'une politique de conservation des sols. Une telle politique peut être exposée à travers deux exemples précis :

- La valorisation des eaux de ruissellement par des techniques locales traditionnelles ou par des ouvrages classiques de CES enrichis par des expérimentations réalisées à l'I.R.A.

- La lutte contre l'érosion des sols sableux par le vent en utilisant l'effet d'un amendement calcaire.

Etant donnée l'amplification des dégradations, il est nécessaire d'envisager parallèlement le recours à de nouvelles technologies, en particulier dans le domaine des ressources en eau : réduction de l'évaporation sur les nappes d'eau libre, extraction de la vapeur d'eau non condensée sous forme de rosée, etc ...

Il est nécessaire aussi :

- de suivre les progrès de la désertification et la gestion des ressources grâce à des systèmes d'information basés sur les données d'observation satellitaires. Cela suppose une meilleure coopération entre les organismes concernés et un effort de formation technique ;

- de privilégier l'approche participative et la décentralisation administrative et financière pour créer de nouveaux rapports entre décideurs et usagers à partir de l'exemple des Gouvernorats de Jendouba, Kasserine et Medenine.

SESSION 2 : EAU ET SOL

Présidents : A. M'HIRI et A. EL HAMROUNI

Rapporteurs : M. CHAIEB et R. BOUKHCHINA

Les huit communications scientifiques exposées lors de cette session, ont porté sur les différentes formes de dégradation des ressources hydriques et édaphiques des zones arides et semi-arides causés par les facteurs écologiques et anthropiques et particulièrement :

- l'érosion hydrique;
- l'érosion éolienne;
- l'hydromorphie et la salinisation secondaire;
- la salinisation des eaux souterraines.

Les intervenants ont abordé les sujets suivants :

- les différentes techniques de stabilisation des dunes et de lutte contre l'ensablement;
- la réutilisation et la valorisation des eaux usées épurées et les margines comme alternative pour préserver les ressources en eau et en sol;

- les méthodes de simulation et de quantification de certains processus et facteurs de dégradation du milieu naturel ;

- les pratiques agricoles appropriées pour la préservation des ressources en eau et en sol en zone aride.

Les discussions ont porté sur les points suivants :

- faire participer davantage les utilisateurs du milieu naturel aux divers travaux et efforts de lutte contre la désertification ;

- difficultés d'extrapoler les résultats expérimentaux acquis à l'échelle grandeur nature ;

- adéquation entre nature des projets de développement mis en oeuvre et les aptitudes réelles du milieu (ressources hydriques, édaphiques, phyto-écologiques ...);

- choix plus judicieux des outils de préparation du sol et des pratiques culturales afin d'éviter les risques de dégradation et de désertification (érosions diverses, salinisation, baisse de fertilité, toxicité...).

Des propositions susceptibles d'assurer un développement durable dans les zones arides et semi-arides ont été avancées dont notamment :

1- Mise au point de stratégies appropriées de gestion intégrée des bassins versants, de conservation des eaux et des sols.

2- Meilleur ciblage des objectifs de recherche en matière de rescousses en eau et en sol en vue de les rapprocher davantage des exigences du développement.

SESSION 3 : ARIDOCULTURE

Président : A. CHERIF

Rapporteurs : A. TRIGUI et M. MARS

Dix communications orales et un poster ont été présentés. Les intervenants sont, Messieurs TRIGUI, BEN ROUINA, MARS, BOUHIRED, HADDAD, BELKADHI, NAGUEZ, FALEH et BENNACEUR.

Contenu des communications

Les communications ont porté sur :

1 - Ressources phylogénétiques domestiques

- Olivier : les variétés locales du sud tunisien représentent un potentiel génétique assez riche mais peu connu qui mérite d'être mieux étudié et exploité. Les premières études montrent la très bonne qualité des fruits et de l'huile produits par ces variétés .

- Grenadier : les variétés locales sont nombreuses et sont du type "variété-population" ou "multi-clones". Les premiers travaux menés sur ce matériel végétal ont permis d'avoir une évaluation de la diversité génétique et d'identifier les principales variétés locales. Des essais multilocaux menés avec plusieurs cultivars vont permettre la détermination de leur adaptation aux différentes zones de culture.

- Orge : plusieurs écotypes locaux d'orge collectés, depuis plusieurs années, dans le sud tunisien ont été évalués et introduits dans des programmes nationaux d'amélioration, et continuent à fournir un matériel génétique particulièrement adapté aux stress environnementaux.

2- Conduite des cultures en rapport avec la gestion des ressources en eau et en sols :

- Pour l'olivier, il est primordial de faire un choix rationnel du sol pour la mise en place des olivettes. Les sols légers profonds paraissent être les mieux indiqués et permettent d'avoir de bons rendements.

- Pour le grenadier, l'éclatement des fruits demeure un problème aigu. Plusieurs pratiques peuvent concourir à l'atténuation de cette contrainte tels que la régularité de l'irrigation, l'équilibre de la fertilisation et la régulation de la charge de l'arbre.

- Pour les céréales, l'utilisation des eaux salées est possible moyennant une gestion rationnelle de l'apport d'eau. L'alternance des eaux de qualités différentes paraît être bénéfique aussi bien pour l'amélioration des rendements que pour le contrôle de la salinité du sol. L'apport de supplément d'eau d'irrigation pour le lessivage des sels doit être bien calculé en tenant compte des eaux pluviales.

- Pour la culture de la tomate sous serres chauffées à l'eau géothermale, il est possible d'utiliser différents matériaux locaux comme substrats artificiels. Le contrôle du niveau de fertilité et de la salinité des cultures hors sol est indispensable et permet d'avoir des fruits exportables.

3- Aspects phytosanitaires et symbioses :

- Les études faites sur les nématodes ont permis de mettre au point des méthodes de lutte intégrée basées sur la combinaison "énergie géothermale/salinisation" et les nématicides chimiques.

- Le suivi de la dynamique des populations d'insectes sur cultures protégées (*mouche blanche, mouche mineuse, trips, pucerons*) et sur palmier dattier (*Apate monachus*) ont permis de définir leurs cycles biologiques et de mettre au point les calendriers d'intervention.

- Il s'avère également que beaucoup de parasitoïdes des ravageurs nuisibles sont présents et feront l'objet d'études ultérieures pour voir la possibilité de leur utilisation dans les essais de lutte biologique.

- Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (M.V.A) sont très utiles pour l'amélioration de la reprise et la croissance des jeunes plants de palmier dattier et contribuent efficacement à la sauvegarde du système oasien.

La mycorhization artificielle pourrait être appliquée pour augmenter le taux de reprise des rejets de palmier

dattier après sevrage.

A l'issue de ces communications les discussions ont porté sur l'ensemble des questions évoquées et ont conduit aux recommandations suivantes :

- 1- Donner la priorité aux "variétés locales" dans les nouvelles plantations fruitières et rationaliser les travaux d'entretien du sol .
- 2- Mener les recherches en groupes pluridisciplinaires touchant différents aspects reliés à une culture donnée ou un axe de recherche donné.
- 3- Approfondir les recherches sur l'utilisation rationnelle de l'énergie géothermale et la lutte biologique contre les ravageurs pour la production de primeurs de qualité.

SESSION 4 : PARCOURS ET AMELIORATION PASTORALE

Présidents : B. HENCHI, M. LASRAM

Rapporteurs : R. PONTANIER et M. NEFFATI

Au cours de cette 4ème session, sept communications ont été présentées et 8 posters affichés. Les principaux thèmes abordés concernaient :

- Un bilan des recherches menées par le département d'écologie pastorale de l'Institut des Régions Arides au cours des 20 dernières années, en essayant de les placer dans le contexte régional des zones arides au nord du Sahara.
- La caractérisation, le fonctionnement et la dynamique des systèmes écologiques de certaines zones du biome aride (Bou Hedma, Nefzaoua Chareb).
- L'étude de la diversité génétique des principales espèces pérennes, natives à intérêt pastoral. Domestication de ces espèces (collectes, collections vivantes, sélections constitution et gestion d'une banque de semences).
- La réhabilitation des espèces dégradées et désertifiées par réintroduction de légumineuses pérennes et des microorganismes associés.
- Des études écophysiologiques du fonctionnement hydrique d'Acacia natifs et exotiques, et de leur adaptation au stress hydrique.
- Des essais de gestion des réserves fourragères sur pied dans des systèmes pastoraux réhabilités (cas de l'A. *cyanophylla*).

Les débats qui ont suivi ont porté principalement sur :

- 1- L'insuffisance de la seule prise en compte de la pluviosité pour caractériser les conditions d'aridité. D'autres facteurs tels que l'humidité relative de l'air, l'ETP etc. sont nécessaires.
- 2- La nécessité de prendre en considération dans l'étude de la dynamique des systèmes écologiques, les problèmes d'érosion génétique, de diminution des espèces clés de voûte et des groupes fonctionnels.
- 3- La nécessité de poursuivre les travaux relatifs à la conservation du patrimoine pastoral. L'importance des espèces pérennes par rapport aux annuelles a été encore confirmée ; les premières étant les plus indiquées pour faire face aux aléas climatiques.
- 4- L'utilité de la sélection d'une espèce clé de voûte comme *Stipa lagascae* à partir des collections de base a été discutée. La diversité écologique des milieux à réhabiliter et la variabilité génétique présentée par cette espèce, imposent une telle démarche.
- 5- L'efficacité des plantes natives collectionnées n'est plus à démontrer, mais leur utilisation à des fins de réhabilitation et de développement par les opérateurs, se heurtent à des difficultés d'ordre phytotechnique et socio-économique.
- 6- Enfin à propos des études écophysiologiques sur les espèces ligneuses des zones arides présentant un enracinement important, le seul suivi des profils hydriques du sol et du cycle du potentiel hydrique foliaire ne suffisent pas à comprendre le fonctionnement et l'adaptation au stress hydrique, sans une étude exhaustive de l'enracinement et une parfaite connaissance de la situation des ressources en eau souterraine.

Au terme de ce débat, il a été souligné que les quelques quinze exposés et posters présentés sur le thème du parcours et de l'amélioration pastorale ne couvrent qu'une faible partie des acquis accumulés dans l'étude de la végétation naturelle dans les zones arides depuis plus de quarante ans ; acquis dont la capitalisation a été renforcée par l'Institut des Régions Arides durant les vingt dernières années. Néanmoins des efforts restent à faire pour utiliser ces acquis en vue d'un aménagement adéquat des parcours.

SESSION 5 : ELEVAGE

Président : M. S. HAJJEJ

Rapporteurs : H. ABDOULI et T. KHORCHANI

5 communications et 1 poster ont été présentés au cours de cette session.

Les interventions peuvent être groupées en trois thèmes :

- Utilisation des arbustes et des parcours.
- Amélioration génétique des caprins.
- Adaptation du dromadaire à son milieu et principaux acquis de recherche de l'I.R.A sur cette espèce.

1- La valorisation des arbustes fourragers s'est intéressée à trois genres (*cactus*, *acacia* et *atriplex*), à leur valeur nutritive et à leurs effets sur les performances des animaux.

L'étude du comportement alimentaire des troupeaux mixtes ovin et caprin sur les parcours du Nord-Ouest de la Tunisie a permis de constater une complémentarité entre ces deux espèces au pâturage dans les conditions favorables et une concurrence dans les conditions défavorables.

2- Les résultats partiels d'étude de la chèvre ont montré que ses performances de production laitière sont limitées même dans les conditions favorables.

- La production laitière ainsi que la croissance ont pu être améliorées significativement par des croisements d'absorption avec des races importées (Alpine, Damasquine, Murciana).
- Le croisement de la chèvre locale par la race Alpine a donné la meilleure production laitière mais l'amélioration de la croissance a été plus élevée dans le cas de croisement avec la race Damasquine.

3- Une synthèse des travaux réalisés à l'I.R.A sur le dromadaire a été présentée.

Les thèmes abordés ont été :

- Les conditions d'élevage du dromadaire.
- La sauvegarde des jeunes (allaitement artificiel).
- L'amélioration des performances de la reproduction.
- La physiologie de la digestion.
- La croissance des chamelons.
- La transformation du lait en fromage.

Les principaux résultats des programmes réalisés sont rappelés ci-après :

- Les paramètres de production et de reproduction dans les élevages extensifs sont faibles.
- La possibilité de sauvegarder les jeunes chamelons par la technique d'allaitement artificiel.
- Les performances de reproduction ont pu être améliorées par la séparation précoce des chamelons ou par les traitements hormonaux.
- Une estimation de l'ingestion et de la digestibilité a montré la supériorité du pH du dromadaire comparativement aux moutons.
- Les effets des stress hydrique et thermique ont confirmé l'adaptation du dromadaire à son milieu notamment par l'ajustement de son métabolisme et sa température interne.
- L'importance du suivi de la propagation de certaines maladies graves du dromadaire ou d'autres espèces du sud.
- La nécessité d'entreprendre des études pluridisciplinaires pour la mise en place de modes de gestion pratique des parcours pour permettre leur utilisation durable.
- L'utilisation des arbustes fourragers notamment les espèces locales doit s'intégrer dans la conduite habituelle du cheptel.
- Des questions relatives sur le dromadaire ont intéressé les produits des dromadaires, l'amélioration de ses performances de reproduction, l'éventuel danger de l'allaitement artificiel.

Perspectives :

- Poursuivre le travail effectué sur le croisement pour avoir des résultats globaux permettant des choix fondés.
- Développer le programme de sélection de la population caprine autochtone en milieu extensif.
- Renforcement des recherches sur le dromadaire pour mieux connaître ses exigences, l'amélioration de ses performances et la valorisation de ses productions.

SESSION 6 : SOCIO-ECONOMIE ET DEVELOPPEMENT

Présidents : M. BEN SAID et M.S. MEKNI

Rapporteurs : M. PICOUET et M. SGHAIER

Douze communications ont été présentées lors de cette séance. Elles ont porté sur 4 thèmes. Les principaux aspects évoqués par le 1er thème : Dynamique des populations et des systèmes et politiques de développement sont :

- Relation entre populations et milieux naturels dans trois régions, Menzel Habib, Faouar et Jbel Bargou.
- Politique de développement et évolution des systèmes de production.

Les trois communications consacrées au second thème : Gestion de l'eau en zones arides ont porté sur les aspects suivants :

- Politiques d'aménagement hydro-agricoles au Sahara maghrébin et développement durable.
- Régulation et allocation optimale des ressources en eau non renouvelables dans les systèmes de production oasiens.

Les questions suivantes ont été particulièrement développées :

- Analyse des politiques hydro-agricoles et de mise en valeur en zones sahariennes de la région du Maghreb.

- Analyse de la politique tunisienne de la tarification ainsi que la présentation d'un modèle d'optimisation multiobjective des ressources en eau renouvelables dans la région de Nefzaoua.

Les deux communications du troisième thème : Approche participative dans le domaine de développement des systèmes jessour ont traité d'une approche participative développée par les chercheurs de l'I.R.A sur le transfert technologique dans le domaine de la gestion des ressources en eau pluviale dans la chaîne des Matmata et d'une approche participative développée par une ONG (Douiret).

Trois autres interventions ont porté sur :

- Le commerce informel et la notion de « région économique », nouveau concept capable d'appréhender l'analyse des échanges économiques trans-frontaliers.
- Eléments pour une approche socio-économique de la problématique d'un développement durable.
- Perspectives de promotion des femmes dans les zones arides.

Discussions :

Les discussions ont porté sur les aspects suivants :

- Le passage jugé rapide de la phase « diagnostic » à la phase « observatoire » pour le projet DYPEN.
- L'intérêt d'approfondir l'analyse de comportement des producteurs pour développer l'approche participative.
- La nécessité de prendre en compte de la dynamique et de l'évolution des systèmes de production fragiles pour assurer leur viabilité.
- L'intérêt d'analyser la végétation naturelle comme un système .

Recommandations :

- Prise en compte du comportement des producteurs et de leur rationalité pour mieux réussir l'approche participative.
- Développement d'outils d'aide à la décision notamment dans le domaine de gestion des ressources naturelles.
- Approfondir l'analyse des dynamiques socio-économiques caractérisant les régions arides.

SESSION 7: SYNTHESE

La session 7 a été consacrée à la synthèse, aux recommandations et perspectives. Les responsables des différents organismes invités CIHEAM, OSS, ICARDA, UNESCO, ont exposé à la fois les activités principales de leurs équipes et leurs projets de relations internationales en vue de préparer de futures coopérations. Chaque orateur a insisté sur la nécessité d'échanges des nombreux résultats de recherches et d'une plus grande concertation dans un contexte de diminution des financements internationaux.

Monsieur le Directeur du Cabinet du Ministère de la Formation Professionnelle et de l'Emploi et Monsieur le Directeur exécutif de l'OSS ont évoqué le rôle prépondérant que devrait jouer l'IRA dans les

programmes nationaux de recherche et sa vocation à devenir un observatoire des milieux arides pouvant aider la Tunisie à rejoindre le concert des nations développées.

Les représentants du Mali, du Sénégal, du Niger, du Maroc, de l'Algérie ont pris tour à tour la parole en remerciant l'I.R.A pour les enseignements positifs de ce séminaire et en souhaitant l'établissement de relations plus étroites avec cette institution.

LISTE DES PARTICIPANTS AU SEMINAIRE

" ACQUIS SCIENTIFIQUES ET PERSPECTIVES POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE DES ZONES ARIDES"

Jerba 5-6-7 décembre 1996

Nom & Prénoms	Organisme	Adresse	Pays
M. OUANOUI	I.A.P	Djelfa -	Algérie
L. GUEZLANE	I.N.A	El Harrach - Alger	Algérie
L. BOUHIRED	U.R.Z.A	B.P 44 Alger Gare - 16000 Algérie	Algérie
M. BEN NACEUR	U.R.Z.A	Alger Gare	Algérie
N. BEN GUEDOURA	U.R.Z.A	Alger Gare	Algérie
D. PETER	C.E	Bruxelles	Belgique
J. CLAUDE Dumont	Chef mission de Coop.	Ambassade de Belgique	Belgique
Tillo BEHAEGHE	Faculté des Sciences Agronomiques de Gent	Coupure Links 653 - 9000 Gent	Belgique
Dr. ir. GABRIELS	Faculté des Sciences Agronomiques de Gent	Coupure Links 653 - 9000 Gent	Belgique
Dr.ir. HARTMANN	Faculté des Sciences Agronomiques de Gent	Coupure Links 653 - 9000 Gent	Belgique
S.J.OUEDRAOGO	IRBET / CNRST	Ouagadougou	Burkina- Faso
Dr. Najib MOULGI	Institut de Désert	Al Mataria El Caire	Egypte
LE. HOUEYOU	CEPE	Montpellier	France
Mustapha LASRAM	CIHEAM	3191 Route de Mende B.P 5056-34033 Montpellier Cedex 1	France
A. BEN KALIFA	CIRAD Forêt	Montpellier	France
N. SELLAMNA	I.V.R.A	Montpellier	France
Michel PICOUET	Labo.Population Environnement Marseille	25, Rue de la Providence 13710 Fuveau -	France
Alain GERBE	O.S.S	Parc Scientifique Agropolis 34397 Montpellier Cedex 5	France
Chedli FEZZANI	O.S.S	Parc Scientifique Agropolis 34397 Montpellier Cedex 5	France
Iwao KOBORI	Uni. Nat. Unies	Tokyo	Japon
M. Abdou Yehiya	Centre de Recherche GAO -	Bamako	Mali
O.NIANGADO	I.E.R	Bamako	Mali
M.YASSIN	C.N.R.F	Rabat	Maroc
A.B.MOUHAMMADI	Faculté des Sciences	Université Ibn Tofail - Kénitra - Maroc	Maroc

A. GUEROUALI	I.A.V Hassen II	B.P 6202 - Rabat Maroc	Maroc
B.FALL	Direction de l'Environnement	Nouakchott	Mauritanie
I.WATA	Direction de l'Environnement	Niamey	Niger
S. SULTAN	P.I.A.L.E.S	P.O Box 296 Hebron	Palestine
DIOUF Aliou	C.E.S	Dakar	Sénégal
A. Moctar NIANG	C.S.E	Dakar	Sénégal
R. PONTANIER	ORSTOM	B.P 1386 - Dakar	Sénégal
SALL Papa Ndiensou	U.R.A, Forêt - ISRA	Dakar	Sénégal
Amadou DIALLO	CIN/D	11, Chemin des Anémones B.P 76 CH 1219 Chatelaine	Suisse
Zoubeuro			Togo
A. EL HAMROUNI		Tunis	Tunisie
T. BOUHAOUACH	A.F	4100 Médenine	Tunisie
F. LAFFET	A.S.N.P.E.Douiret	3232 Douiret Tataouine	Tunisie
Mohamed S. HAJJEJ	A.V.F.A	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary - 1030 Tunis	Tunisie
Colonel Chokri TURKI	C.N.T	B.P 200-1080 Ariana Cedex	Tunisie
Salah EL MEJRI	C.R.D.R	12 Av. Du Royaume de l'Arabie Saoudite - Tunis	Tunisie
Ali AHMED	Centre R.de contrôle des Finances	Bizerte	Tunisie
Nasr NAJAH	Céramique du Sud	4100 Médenine	Tunisie
A. ABDELKABIR	CFRA	Zerkine - Mareth	Tunisie
Chafii M'SALLBI	CFRA	4119 Médenine	Tunisie
F. BEN ABDALLAH	CNUDST	1 av. de France Tunis	Tunisie
A. HERRICH	CRDA	9119 Sidi Bouzid	Tunisie
Abdelmagid HAJI	CRDA	2119 Gafsa	Tunisie
Ahmed SMAOUI	CRDA	4100 Médenine	Tunisie
Commissaire	CRDA	3200 Tataouine	Tunisie
Hammadi CHTEOUI	CRDA	6029 Gabès	Tunisie
M. MEZGHANI	CRDA	6029 Gabès	Tunisie
M. ZAMMOURI	CRDA	4100 Médenine	Tunisie
Mabrouk JEDDI	CRDA	3029 Sfax	Tunisie
Mohamed GRIRA	CRDA	2119 Gafsa	Tunisie
Ridha ABDALLAH	CRDA	4239 Kébili	Tunisie
Sassi GHRAB	CRDA	2119 Gafsa	Tunisie
Hassen DHIAB	Direction Regionale de l'Enseignement	4100 Médenine	Tunisie
M.R. BOUSEMMA	E.N.I.T	B.P 37 - 1002 Tunis	Tunisie

Mohsen GHARBI	E.S.A Kef	7119 El Kef	Tunisie
M. LAMOURI (Représentant FAO)	F.A.O Tunisie	61, Rue Alain Savary- B.P 300 - 1082 Tunis	Tunisie
S. M.DHIFALLAH	F.S.G.	Sfax	Tunisie
Yadh ZAHAR	Faculté de Mannouba	Université de Tunis 1 Mannouba	Tunisie
Abdelfettah KASSAH	Faculté des Lettres Mannouba	2010 Mannouba	Tunisie
Lotfi ABDALLAH	Faculté des Sciences de Sfax	3038 Sfax	Tunisie
M. CHAIEB	Faculté des Sciences de Sfax	Route de Soukra km 3,5 3038 Sfax	Tunisie
Mekki BOUKRHIS	Faculté des Sciences de Sfax	Route de Soukra km 3,5 3038 Sfax	Tunisie
Abdelhamid NABLI	Faculté des Sciences de Tunis	Campus Universitaire 1060 El Belvédère Tunis	Tunisie
Ezzeddine ZID	Faculté des Sciences de Tunis	Campus Universitaire 1060 Tunis Belvédère	Tunisie
M. MARRAKCHI	Faculté des Sciences de Tunis	Campus Universitaire 1060 Tunis Belvédère	Tunisie
Noureddine CHELBI	Faculté des Sciences de Tunis	Campus universitaire 1060 Tunis Belvédère	Tunisie
S. BOUNAQBA	Faculté des Sciences de Tunis	Campus Universitaire 1060 Tunis Belvédère	Tunisie
Sadok BOUZID	Faculté des Sciences de Tunis	Campus Universitaire 1060 Tunis Belvédère	Tunisie
Fethi LISSIR	Facultés des lettres Sfax	3038 Sfax	Tunisie
Kalifa ALAYA	G.T.Z	Sidi Bouzid	Tunisie
Mosbah BOUSETTA	Gouvernorat de Médenine	4100 Médenine	Tunisie
A. MAJDOUB	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolle 1082 Tunis	Tunisie
Ali HAMZA	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolles 1004 Tunis Belvédère	Tunisie
Ali M'HIRI	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolle 1002 Cité Mahragène Tunis	Tunisie
H. HABAIEB	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolle 1002 Cité Mahragène	Tunisie
Habib SNANE	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolles 1004 Tunis Belvédère	Tunisie
M.BEN HAMOUDA	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolles 1004 Tunis Belvédère	Tunisie
Mongi ZOUAGHI	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolles 1004 Tunis Belvédère	Tunisie
Netij BEN MECHLIA	I.N.A.T	43, Av. Charles Nicolles 1004 Tunis Belvédère	Tunisie
A. HAMROUNI	I.N.R.A.T	Rue Hédi Karray - 2080 Ariana	Tunisie
Ali NEFZAOUI	I.N.R.A.T	Rue Hédi Karray 2049 Ariana	Tunisie
Glii KHALDI	I.N.R.A.T	Rue Hédi Karray 2080 Ariana	Tunisie
H.J. MELLOULI	I.N.R.A.T	Rue Hédi Karray - 2049 Ariana	Tunisie

Jalila BENZARTI	I.N.R.A.T	Rue Hédi Karray - 2049 Ariana	Tunisie
M. EL FALEH	I.N.R.A.T	Rue Hédi Karray 2049 Ariana Tunis	Tunisie
Moh. ELLOUMI	I.N.R.A.T	Tunis	Tunisie
Mohsen KAABIA	I.N.R.A.T	Rue Hédi Karray - 2049 Ariana	Tunisie
Ali ALBOUCHI	I.N.R.G.R.E.F	B.P 2 - 2080 Ariana Tunis	Tunisie
M. Nejjib RJEB	I.N.R.G.R.E.F	B.P n° 2 Ariana	Tunisie
Mme Mejda ABASSI	I.N.R.G.R.E.F	B.P 2 -2080 Ariana Tunis	Tunisie
Youssef AMMARI	I.N.R.G.R.E.F	B.P 2 -2080 Ariana Tunis	Tunisie
Faïçal TURKI	I.P.E.I.Sfax	Route Menzel Chaker km 0,5 B.P 805 - 3000 Sfax	Tunisie
A. BOUZAIDI	I.R.E.S.A	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
A. MOUGOU	I.R.E.S.A	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Abdelkader CHERIF	I.R.E.S.A	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary - Tunis	Tunisie
Ali SELMI	I.R.E.S.A	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Mounir HEDRI	I.R.E.S.A	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Lotfi KAABI	I.R.S.I.T	2, Ibn Nadim cité Montplaisir Tunis	Tunisie
M. Salah MEKNI	ICARDA Tunisie	B.P 84 - 2049 Ariana	Tunisie
Ahmed TRIGUI	Institut de l'Olivier	B.P 263 - 3018 Sfax	Tunisie
B. BEN RHOUMA	Institut de l'Olivier	B.P 263 - 3018 Sfax	Tunisie
Dalenda BOUJNAH	Institut de l'Olivier	B.P 40 Ibn Khaldoun - 4046 Sousse	Tunisie
Samir LAZAR	Ministère de Développement Economique	Place de la Monnaie 1030 Tunis	Tunisie
A. DAALOUL	Ministère de l'Agriculture	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Ahmed CHENNOUFI	Ministère de l'Agriculture	Ministère de l'Agriculture 30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Amor MTIMET	Ministère de l'Agriculture	30, Rue Alain Savary - 1030 Tunis	Tunisie
M. Larbi CHAKROUN	Ministère de l'Agriculture	30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Mouldi BEN SAID	Ministère de l'Agriculture	30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Oun EL MEKRAZI	Ministère de l'Agriculture	30, Rue Alain Svary - 1030 Tunis	Tunisie
Taïeb JALEL	Ministère de l'Agriculture	30, Rue Alain Savary 1030 Tunis	Tunisie
Adel HENTATI	Ministère de l'Environnement	Tunis	Tunisie
Atiya KALIL	Ministère de l'Environnement	Tunis	Tunisie

Habib MISSAOUI	Ministère de l'Environnement	Tunis	Tunisie
Jaafar FRIAA	Ministère de l'Environnement	Tunis	Tunisie
A. KALLALA	Ministère de l'Environnement et A. de Territoire	Centre Urbain Nord Ap. ICF 2080 Ariana	Tunisie
Ibrahim BEN ALI	Ministère de l'Intérieur	1030 Tunis	Tunisie
Moncef BEN SAID	Ministère de la Formation Professionnelle et de l'Emploi	1030 Tunis	Tunisie
Mokthar ENNEB	Municipalité de Medenine	4100 Médenine	Tunisie
Ali BEL HADJ	O.D.R.M	Rue Salah Ben Youssef 4239 Kébili	Tunisie
Colonel A. MEFTAH	O.D.R.M	Rue Salah Ben Youssef 4200 Kébili	Tunisie
A. ZANZOURI	O.D.S	4100 Médenine	Tunisie
Mongi BEN DHIA	O.E.P	Ministère de l'Agriculture 30, rue Alain Savary - 1030Tunis	Tunisie
Frédéric SANDRON	ORSTOM Tunis	B.P 434 - 1004 El Menzeh	Tunisie
Laurent AUCLAIR	ORSTOM Tunis	B.P 434 - 1004 El Menzeh	Tunisie
Jaque CLAUDE	ORSTOM Tunisie	B.P 434, 5 Impasses Chahrazed 1004 El Menzeh	Tunisie
M. BERREZOUG	PNUD Tunisie	61, Boulevard Bab Bnat - 863 Tunis	Tunisie
Ali ABAAB	SERST	18, Rue 8010 Montplaisir - 1002 Tunis	Tunisie
Rachid GUERIR	SERST	18, Rue 8010 Montplaisir Tunis	Tunisie
Rifaat CHAABOUNI	SERST	18 Rue 8010 Montplaisir Tunis	Tunisie
Mohamed EL BACHA	U. R A.P	4100 Médenine	Tunisie
Mohamed GABSI	U.R.A.P	4100 Médenine	Tunisie

Liste du personnel de l'IRA ayant participé au séminaire international « Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides »

Jerba 4-5-6 décembre 1996

AKRIMI Nouredine	KARDOUS Mouldi	JERIDI Ridha
KHATTELI Houcine	THABET Mohamed	M'CHAREK Abdelmajid
ZEMZEMI Jilani	MINIAOUI Mohamed Taïeb	KOUAKBI Mohamed
KHORCHANI Touhami	MOUMNI Youssef	BEN AYED Ali
NEFFATI Mohamed	BEL HADJ Najet	M'SAADA Hédi
SGHAIER Mongi	AHMED Belgacem	BOUZNIF Messaoud
MARS Messaoud	BEN SAAD Abdallah	LATRACH Mohamed
CHEHBANI Bellacheb	BEN SALEM Mokhtar	CHIBANI Saïd
NASR Nouredine	MOUSSA Mohamed	CHEBLI Taïeb
ZAAFOURI Mohamed Sghaier	TBIB Amor	BEJI Abdallah
JEDER Habib	CHAMMEM Mohsen	BEN SAID Mohamed Sassi
BLKADHI Mohamed Sadok	LAROUSSE Kamel	LOUHICHI Mehdi
FERCHICHI Ali	AKROUT Ahmed	LOUHICHI Fadhel
TALBI Mohamed	BACHAR Nouredine	GHOUIL Mounira
BEN SASSI Mohamed	MABROUK Abderrazak	EL MOKH Abdelmajid
BEN ABED Mohamed Ali	FADHLI Saïd	ZARROUG Hédi
TAAMALLAH Houcine	BELHOUCHE TTE Salah	JEDER Habib
NAJARI Sghaier	LTIFI Mohamed B. Belgacem	AGREBI Ali
NAGAZ Kameleddine	MEHREZ Allala	ZAMMOURI Tarek
OULED BELGACEM Azaiez	KHALLADI Abdallah	AOUN Faouzi
BOUKHCHINA Racid	HAI AHMED Naceur	SHIRI Abdallah
HADDAD Mansour	FARHAT Kamel	ISMAIL Mohamed
LOUMEREM Mohamed	NASRI Ahmed	BESSAOU Ferjani
ROMDHANE Abderrazak	L'TIFI Mohamed B. Alaya	FARHAT Mohamed
HAMMADI Mohamed	ZERRIM Ammar	HAMROUNI Nouredine
OUESSAR Mohamed	HADDAJI Dalila	

2 - التوصيات

تمخضت عن هذا المؤتمر التوصيات التالية :

- ☆ اشراك الفلاحين والجمعيات المهنية في تحديد أولويات البحث و تطبيق نتائجه وكذلك في اعداد المشاريع التنموية والبيئية الهادفة الى توفير الانتاج مع المحافظة على التوازن البيئي بهذه المناطق الهشة.
- ☆ التركيز على متابعة ظاهرة التصحر بجميع أشكالها (زحف الكثبان الرملية، العوامل المناخية، الانجراف، اختفاء الكساء النباتي) باستعمال الوسائل والتقنيات الحديثة كالأقمار الصناعية وتكوين منظومات معلوماتية في هذا الغرض.
- ☆ ترشيد استعمال المياه وتركيز البحوث حول الطرق المثلى لاستعمال المياه المالحة والمياه السخنة والمياه المستعملة في الزراعات السقوية .
- ☆ تعميق البحث في ميدان الطاقات الجديدة والمتجددة.
- ☆ ضرورة الاخذ بعين الاعتبار ظاهرة انقراض واختفاء بعض الاصناف من النباتات الطبيعية والزراعية ووضع برامج تهدف الى المحافظة على الاصول الوراثية والتركيز على استعمال النباتات والاصناف المحلية في ميدان تنمية المراعي وكذلك الفلاحة البعلية والسقوية.
- ☆ زيادة التعريف لدى المربين بالنتائج الحاصلة في ميدان تهجين الماعز المحلي بالاصناف المستوردة وتكثيف برامج البحث الهادفة الى انتقاء أصناف الماعز المحلي الأكثر تأقلماً و انتاجية.
- ☆ تطوير أليات تساعد على أخذ القرار فيما يتعلق بالمحافظة على الموارد الطبيعية.
- ☆ دعم البحث في مجال الديناميكية الاجتماعية والاقتصادية.
- ☆ ضرورة إدماج التكوين العالي في ميدان التصحر ضمن اختصاصات معهد المناطق القاحلة.
- ☆ تكثيف التعاون الدولي مع جميع المؤسسات الدولية التي تعمل في مجال مكافحة التصحر وزراعة المناطق القاحلة والصحراوية.

- ☆ اعداد برامج بحثية تهتم بالخصوصيات البيولوجية والفزيولوجية للإبل وكذلك لتحسين انتاجيته.
- ☆ بعث برامج بحث جديدة تهتم الحيوانات البرية بالمناطق الجافة وذلك قصد التعرف على هذه الثروة الوطنية والمحافظة عليها.

الحصّة 7 : النظم الاقتصادية والاجتماعية والتنمية المستدامة

- تناولت المداخلات المدرجة بهذه الحصّة المواضيع التالية :
 - الديناميكية السكانية وتأثيرها على المحيط
 - الاستغلال الامثل للموارد المائية
 - المنهجية التشاركية في ميدان المحافظة على الموارد الطبيعية والتنمية المستدامة بالمناطق القاحلة.
 - دور المرأة في المحافظة على الموارد الطبيعية.
 وقد دارت المناقشات حول :
 - ☆ ضرورة ترسيخ مراصد موزعة على مختلف المناطق الطبيعية قصد متابعة ملموسة لمدى تطور ظاهرة التصحر وتأثير النظم الانتاجية على المحيط.
 - ☆ دعم البحث في مجال الديناميكية الاجتماعية والاقتصادية.
 - ☆ ضرورة ايجاد الصيغ الكفيلة لترشيد استعمال المياه في عمليات الري ووضع سياسة طويلة المدى تهدف الى المحافظة على هذه الثروة الطبيعية.
 - ☆ تشريك الفلاحين والجمعيات المهنية في تحديد أولويات البحث وتطبيق نتائجه وكذلك في إعداد المشاريع التنموية والبيئية الهادفة الى توفير الانتاج مع المحافظة على التوازن البيئي لهذه المناطق الهشة.

الحصّة الثامنة : دراسة أفاق التعاون الدولي

- خصصت هذه الحصّة للتعريف بالمؤسسات الوطنية والجهوية والدولية التي تهتم بمقاومة التصحر وتطوير فلاحية المناطق القاحلة. وركز ممثلو هذه المؤسسات (مرصد الصحراء والساحل، المركز الدولي للبحوث الفلاحية بالمناطق الجافة، منظمة الامم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم والمركز الدولي للدراسات الفلاحية العليا بالمتوسط) على الدور الذي يجب أن يلعبه معهد المناطق القاحلة على مستوى التكوين والبحث والتنمية بالمناطق الجافة والصحراوية.
- في مجال البحث العلمي ركّز المتدخلون على الدور الريادي لمعهد المناطق القاحلة بمدنين على المستوى العربي والافريقي والمتوسطي ووقعت الاشارة الى امكانية تطبيق نتائج البحث في اطار نقل الخبرات الى عديد المناطق ذات المناخ الجاف.
- في مجال التكوين أبرز ما يمكن الاشارة اليه هو تأكيد المتدخلين على أن يكون للمعهد الدور الهام في تكوين وتأطير الكفاءات الوطنية والدولية في مجال التصحر وفلاحية المناطق الجافة وعلى أن يصبح معهد المناطق القاحلة مركز اشعاع دولي في هذا الميدان.
- أما على مستوى التنمية فقد أكد المتدخلون على تدعيم ومواصلة تنظيم الدورات التدريبية والأيام الاعلامية للتعريف بنتائج الابحاث والدراسات التي توصل إليها المعهد وذلك لنشر الطرق الحديثة المتعلقة بمقاومة التصحر.

- استغلال المياه المستعملة والمالحة من أجل إيجاد موارد مائية جديدة.
- التقنيات وطرق تهيئة الاراضي لغاية حمايتها من التدهور.
- وتناول النقاش النقاط التالية :
- ☆ تشريك الفلاح في تطبيق نتائج البحث العلمي في ميدان مقاومة الانجراف وزحف الرمال.
- ☆ الاختيار الامثل لوسائل خدمة الارض .
- ☆ التعمق في دراسة وبحث الطرق المثلى لاستغلال المياه المستعملة والمالحة.

الحصة الرابعة : فلاحه المناطق الجافة والصحراوية

- تمحورت المداخلات في هذه الحصة حول ثلاث نقاط :
- الاشجار والزراعات المستعملة في فلاحه المناطق الجافة
- التقنيات الزراعية بالمناطق الجافة
- الآفات الزراعية وطرق مكافحتها
- وتناول النقاش المحاور التالية :
- ☆ التعرف على الاصناف النباتية المحلية والتعمق في دراستها واعتمادها في برامج التنمية الفلاحية بالمناطق القاحلة. وتجدر الاشارة الى أن المناطق القاحلة تزخر بمخزون وراثي غني بالنسبة للخضروات والزراعات العلفية والبقولية والحبوب والاشجار المثمرة (زيتون، رمان، تين، نخيل...).
- ☆ تكثيف البحث حول استغلال المياه السخنة والطاقة المنبثقة عنها،
- ☆ الاعتماد على الطرق البيولوجية لمقاومة الآفات الزراعية.

الحصة الخامسة : تنمية وتنظيم المراعي

- تركزت المداخلات وعددها 7 حول :
- ديناميكية التجمعات النباتية الطبيعية
- كيفية التحسين الوراثي للنباتات الطبيعية المحلية
- استغلال النباتات العلفية وتنظيم المراعي
- استعمال النباتات المحلية في تحسين المراعي.
- وقد تناول النقاش المحاور الآتية :
- ☆ تعمق البحث في مجال التحسين الوراثي للنباتات العلفية
- ☆ ضرورة الاخذ بعين الاعتبار ظاهرة انقراض بعض النباتات الطبيعية ووضع برامج تهدف الى المحافظة على الاصول الوراثية لنباتات المناطق القاحلة.
- ☆ مواصلة دراسة الخصائص البيولوجية والفيزيولوجية للنباتات العلفية.
- ☆ ترشيد استعمال نتائج البحث المتعلقة بطرق استغلال النباتات العلفية وتهيئة المراعي.

الحصة السادسة : تربية الماشية

- خصصت اشغال هذه الحصة لتناول المحاور التالية :
- استعمال الشجيرات العلفية في التغذية الحيوانية.
- التحسين الوراثي للماعز المحلي.
- زيادة الاهتمام بتربية الابل وتكثيف العناية بها .
- الامراض التي تهدد تربية الماشية.
- وتمحور النقاش حول النقاط الآتي ذكرها :
- ☆ زيادة التعريف لدى المربين بالنتائج الحاصلة في ميدان تهجين الماعز المحلي بالاصناف المستوردة وتكثيف برامج البحث الهادفة الى انتقاء اصناف الماعز المحلي الاكثر تأقلم وانتاجية.

1 - أشغال الملتقى

قسمت الاشغال الى 8 حصص قدمت فيها 54 مداخلة خصصت لتناول المواضيع التالية :

- ☆ اشكالية البحث والتنمية بالمناطق القاحلة (4 مداخلات)
- ☆ تدهور المنظومات البيئية بالمناطق الجافة (8 مداخلات)
- ☆ التصرف في المياه والتربة (9 مداخلات)
- ☆ فلاحه المناطق الجافة والصحراوية (8 مداخلات)
- ☆ تنمية وتنظيم المراعي (7 مداخلات)
- ☆ تربية الماشية (6 مداخلات)
- ☆ النظم الاقتصادية والاجتماعية والتنمية بالمناطق القاحلة (12 مداخلة)
- ☆ دراسة أفاق التعاون الدولي.

الحصه الأولى : اشكالية البحث والتنمية بالمناطق القاحلة

وقع النظر في هذه الحصه التقديمية الى التوجهات العامة للمخطط التاسع للبحث العلمي والتكنولوجي حيث وقع التأكيد على ضرورة استجابة مؤسسات البحث العلمي لمتطلبات قطاع التنمية كما وقعت الاشارة الى ما جاء بالقانون التوجيهي للبحث العلمي من تسهيلات من شأنها أن تدعم التواصل بين البحث والتنمية.

أما في ما يخص منهجية البحث التنموي في ميدان فلاحه المناطق الجافة ومقاومة التصحر فقد وقع التذكير باستراتيجية ومنهجية البحث وأهم البرامج المتبعة من طرف معهد المناطق القاحلة بمدنين في هذا المجال. و أخيرا تم التذكير بالضروف التي أدت الى انشاء معهد المناطق القاحلة سنة 1976 والدور المناط بعهدته.

وتناول الحوار مدى تأثير القانون التوجيهي في اعطاء دفع جديد لمؤسسات وهياكل البحث العلمي وكذلك للباحثين.

أما في ما يتعلق بمعهد المناطق القاحلة فقد تطرق المتدخلون الى الدور الوطني والدولي الذي يجب أن تلعبه هذه المؤسسة في ميدان مقاومة التصحر خصوصا وإن هذه الافة تهدد معظم الاراضي الفلاحية ببلادنا وبالبلدان المتاخمة للصحراء.

الحصه الثانية : تدهور المنظومات البيئية

خصّصت هذه الحصه لتدارس المواضيع التالية :

- ☆ العوامل المناخية : وقع في هذا المجال اقتراح استعمال مؤشر جديد يأخذ بعين الاعتبار عدم انتظام الامطار.
- ☆ تدهور الكساء النباتي : وقعت الاشارة الى التدهور الحاصل في التجمعات النباتية بالمناطق ذات المناخ الجاف .
- ☆ تدهور موارد التربة : وقعت الاشارة الى الخسائر المسجلة في موارد التربة ببلادنا والتي تقارب 23 000 هكتارا، الشيء الذي يدعو الى تطبيق الاستراتيجيات الوطنية في هذا المجال لضمان تنمية مستديمة ، ودار النقاش حول مدى خطورة هذا التدهور على المنظومات البيئية وكيفية مجابهته. وقد وقع الاجماع على متابعة تطور ظاهرة التصحر بالاعتماد على الاقمار الصناعية كما أكد الحاضرون على اللجوء الى تقنيات حديثة خاصة في ميدان التصرف في الموارد المائية ومقاومة زحف الرمال.

الحصه الثالثة : التصرف في المياه والتربة

تطرقت المداخلات الى المواضيع التالية :

- الانجراف المائي والهوائي للتربة وطرق مقاومته.

الملتقى الدولي حول " النتائج العلمية وأفاق التنمية بالمناطق القاحلة " جربة 5 - 6 - 7 ديسمبر 1996

إنعقد الملتقى الدولي حول " النتائج العلمية وأفاق التنمية بالمناطق القاحلة " بجربة من 5 الى 7 ديسمبر 1996 وقد أشرف على افتتاح أشغال هذه التظاهرة السيد المنجي صفره كاتب الدولة لدى الوزير الاول المكلف بالبحث العلمي والتكنولوجيا وأختتمت هذه الدورة بإشراف السيد الشاذلي العروسي كاتب الدولة للفلاحة والصيد البحري.

حضي هذا الملتقى المنظم من طرف معهد المناطق القاحلة في إطار احتفاله بمرور عشرين سنة على تأسيسه بدعم من المنظمات الدولية والجهوية التالية :

- منظمة الامم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم (UNESCO)

- المجموعة الأوروبية (UE)

- المركز الدولي للدراسات الفلاحية العليا بالمتوسط (CIHEAM)

- المعهد الفرنسي للبحث العلمي من أجل التنمية بالتعاون (ORSTOM)

وتتلخص الاهداف المرسومة للمؤتمر في ما يلي :

- مناقشة النتائج العلمية الحاصلة سواء كانت في تونس أو على المستوى

الدولي في ميدان مقاومة التصحر وتنمية المناطق القاحلة والصحراوية.

- تحديد النقائص والبيادين التي يجب التركيز عليها وإعطاؤها الأولوية في

الفترة المستقبلية.

- دراسة امكانيات تطبيق هذه النتائج في التنمية وتحديد العوائق التي ربّما

تحد من استعمالها.

- رسم استراتيجية مستقبلية في ميادين البحث العلمي وتنمية المناطق

القاحلة.

شهدت هذه التظاهرة حضورا مكثفا تجاوز 185 مشاركا من بينهم 148

مشاركا تونسيا و 37 أجنبيا يمثلون الدول التالية : بلجيكا، فرنسا، اليابان،

مصر، ليبيا، الجزائر، المغرب، السنغال، مالي، النيجر، وبركينا فاسو، وكذلك

العديد من الكفاءات التونسية المتواجدة خارج أرض الوطن بالإضافة الى ممثلي

الهيئات الجهوية والدولية التالية : منظمة الامم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم

(UNESCO)، مرصد الصحراء والساحل (OSS) المركز الدولي للبحوث الزراعية

(ICRA)، المركز الدولي للبحوث الزراعية بالمناطق الجافة (ICARDA) المعهد

الفرنسي للبحث العلمي من أجل التنمية بالتعاون مع (ORSTOM)، المركز

الدولي للدراسات الفلاحية العليا بالمتوسط (CIHEAM) إضافة الى ممثل التعاون

الدولي بسفارة بلجيكا.

في كلمته الافتتاحية أبرز السيد كاتب الدولة لدى الوزير الاول المكلف

بالبحث العلمي والتكنولوجيا أهمية الموضوع المدرج في هذه الدورة باعتبار أن

التصحر أصبح يهدد العديد من الدول في العالم. كما ذكر بالمجهودات التي تقوم

بها الحكومة التونسية في مجال مقاومة التصحر وتنمية المناطق القاحلة.

مقدمة

يعود التدهور السريع للمحيط الطبيعي في المناطق الجافة وشبه الجافة خلال القرن الحالي الى عدة عوامل نذكر منها الانفجار السكاني والتحويلات الاقتصادية والاجتماعية العميقة من ناحية والتغيرات التي طرأت على طرق استغلال الثروات الطبيعية من ناحية أخرى، فالتوسع المساحات المخصصة للزراعات وتكاثر الماشية الى جانب طرق التصرف والاستغلال المفرط واستعمال الآليات غير الملائمة للمحيط وكذلك الرعي الجائر والاحتطاب كلها عوامل ساهمت في تدهور الغطاء النباتي وبالتالي في الانجراد والانجراف وتدني خصوبة التربة. وللحد من ظاهرة تدهور الموارد الطبيعية تم بذل مجهودات كبيرة خلال السنوات الاخيرة سواء في مجال إعادة تهيئة الاوساط المتدهورة مثل برامج المحافظة على المياه والتربة والتنمية الزراعية والرعية والحراجية وتحسين استعمال الثروات المائية المتاحة أو في مجال البحث العلمي بهدف استنباط أنجع الطرق للحد من تفاقم هذه الظاهرة. ونظرا لتشعب الاشكالية وتعمدها فإن هذه المجهودات لم تحقق كل الاهداف المرجوة وذلك لعدة أسباب من ضمنها دور البحث العلمي وتطبيقاته في ميادين التنمية.

وللمساهمة في نشر نتائج البحث في ميداني مقاومة التصحر وفلاحة المناطق القاحلة وفي إطار احتفاله بمرور عشرون سنة على تأسيسه نظم معهد المناطق القاحلة بمدينة ملتي دوليا أيام 5، 6 و 7 ديسمبر 1996 .

كلمة السيد كاتب الدولة لدى الوزير الاول المكلف بالبحث العلمي والتكنولوجيا عند افتتاحه للملتقى

السيد والي مدنين،
السيد معتمد ميدون،
السيد ممثل منظمة الامم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم،
السيد ممثل المعهد الفرنسي للبحث العلمي من أجل التنمية
والتعاون،
أيها السيدات والسادة

يسعدني أن أشرف اليوم على افتتاح أشغال الملتقى الدولي " البحث
العلمي والتنمية المستدامة في المناطق القاحلة " الذي ينظمه معهد المناطق القاحلة
بمدنين تحت رعاية كتابة الدولة للبحث العلمي والتكنولوجيا.
وأنتهز هذه الفرصة للتوجه بالشكر الجزيل إلى كل المنظمات الوطنية
والدولية التي ساهمت في تمويل هذا الملتقى وأخص بالذكر :

- اللجنة الأوروبية
 - منظمة اليونسكو
 - المركز الدولي للدراسات الفلاحية العليا المتوسطة
 - المعهد الفرنسي للبحث العلمي من أجل التنمية والتعاون.
- كما أشكر إدارات وموظفي معهد المناطق القاحلة بمدنين على الإعداد الجيد
في سبيل إنجاح هذه التظاهرة.
إن اختيار محور هذا الملتقى هام جداً لأنه يبرز ما تقوم به دولة العهد الجديد
بقيادة الرئيس زين العابدين بن علي من جهودات جبارة لمقاومة التصحر وتنمية
المناطق الجافة.
وإنني على يقين أنكم ستثرون هذا الملتقى وتضيفون له الكثير بتبادل
خبراتكم وتجاربكم وأفكاركم.
واسمحوا لي بأن ألقى كلمتي باللغة الفرنسية وذلك لوجود عدد كبير من
الضيوف الذين لا يتقنون لغتنا.

تنظيم الملتقى

معهد المناطق القاحلة

طريق الجرف كلم 22,5 4119 مدين - الجمهورية التونسية

بمساهمة

منظمة الامم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم -
يونسكو

7 ساحة فنتنوا 75352 باريس - فرنسا

المركز الدولي للدراسات الفلاحي المتوسطة العليا -

سيهام

11 نهج نيوتن 75116 باريس فرنسا

كتابة الدولة للبحث العلمي والتكنولوجيا
18 نهج 8010 منتبليزير 1002 تونس - الجمهورية التونسية

الاتحاد الاوروبي

شارع اللوا 200 ص ب 1049 بروكسال (بلجيكا)

المعهد الفرنسي للبحث العلمي للتنمية بالتعاون
أرستوم

5 ممر شهرزاد ص ب 1004 434 المنزه تونس

رئيس الملتقى

حسين الختالي

معهد المناطق القاحلة 4119 مدين - الجمهورية التونسية

المقررون

بيار رونيون

جامعة بيار وماري كيري - فرنسا

نور الدين العكريمي

المعهد الوطني الفلاحي بتونس

لجنة التنظيم

التهامي الخرشاني
محمد الطالبلي

الجيلاني زمزي
الحسين طعم الله
محمد بنساسي

محمد علي بنعابد
علي الفرشيشي
المنجي الصغير

اللجنة العلمية

روحي بونتاني
أورستوم دكار - السنغال
محمد نجيب رجب
المعهد الوطني للبحوث في الهندسة الريفية
والمياه والغابات
بيارونيون
جامعة بيار وماري كيري - فرنسا
علي السالمي
مؤسسة البحث والتعليم العالي الفلاحي -
تونس
محمد السكوري
منظمة الامم المتحدة للتربية والثقافة
والعلوم باريس - فرنسا

وكالة التكوين والارشاد الفلاحي
بلقاسم الحنشي
كتابة الدولة للبحث العمي والتكنولوجيا
مصطفى الاصرم
المركز الدولي للدراسات الفلاحية
المتوسطة العليا - فرنسا
إدوارد لوفلوك
ساب منتبلي - فرنسا
علي المهيري
المعهد الوطني الفلاحي بتونس
محمد صالح الماكني
المركز الدولي للبحوث في المناطق الجافة
والاراضي القاحلة - تونس

نور الدين العكريمي
المعهد الوطني الفلاحي بتونس
المنصف بن سعيد
المعهد الوطني الفلاحي بتونس
المكي بوخريص
كلية العلوم بصفاقس
عبد القادر الشريف
مؤسسة البحث والتعليم العالي الفلاحي
أحمد الشنوفي
المعهد الوطني الفلاحي بتونس
عبد الرزاق دعلول
المعهد الوطني الفلاحي بتونس
محمد الصحبي الحجاج

كتيبة الملتقى

الهادي زروق

محمد لطرش

سعيد فضلي

الملتقى الدولي
" البحث العلمي والتنمية المستدامة
في المناطق القاحلة "

جربة 5 - 6 - 7 ديسمبر 1996

Conception et Réalisation
CIDRA - IRA
Médénine Tél : (05) 640.661
Impression : **Imprimerie de l'orient**
40, rue Mongi Slim Tunis - Tél : 567.971