



ERBIC 18 CT 960091

LES LACS ET RETENUES COLLINAIRES EN TUNISIE

Dr. Salah SELMI et M. Slah NASRI



Tunis, Décembre 1997

Fonds Documentaire CRSTOM



010013332

LES LACS ET RETENUES COLLINAIRES EN TUNISIE

par :

Dr. Salah SELMI et M. Slah NASRI

Décembre 1997

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : ~~A~~ 13332 Ex :

Avant propos

Ce document constitue un recueil de données sur les lacs collinaires en Tunisie. Il représente l'état de l'art en matière de petits barrages ou lacs collinaires. Il correspond au rapport contractuel en fin d'action 1 : « Synthèse préliminaire » pour l'équipe ORSTOM-INGREF /Tunisie, dans le cadre du programme européen Hydromed, ERBIC 18 CT960091. Il est composé de 6 grands chapitres.

Le premier, présente, sous forme d'un petit atlas, la Tunisie : climat, ressources naturelles et politiques de lutte contre l'érosion. Le lac collinaire est considéré comme un aménagement de conservation des eaux et des sols.

Les chapitres 2, 3, et 4 présentant des données actualisées, font de larges emprunts à la thèse de doctorat de Salah SELMI qui a été soutenue en 1996. Elle porte sur les impacts agrosocio-économiques des lacs collinaires en Tunisie.

La technique des lacs et retenues collinaires a été introduite au début de ce siècle dans la région de Bizerte au nord du pays. Après une assez longue période d'abandon du choix de ces infrastructures, c'est à la fin des années soixante que l'on s'intéresse de nouveau aux lacs collinaires mais dans une optique de protection des zones aval et de lutte générale contre l'érosion. Il faut attendre le début des années 1990 pour que les projets d'aménagement changent notablement de dimension. Ainsi la réalisation de 1000 lacs collinaires est l'une des quatre composantes d'une stratégie décennale de CES élaborée et devant être mise en œuvre par le Ministère de l'Agriculture tunisien.

L'opération lac collinaire, aux conceptions technique et socio-économique relativement nouvelles, apparaît comme une composante majeure en complément de l'autre stratégie qui vise à maîtriser la totalité des eaux de surface d'ici à l'an 2001.

Autour des lacs collinaires, quand l'eau est disponible et mise en valeur, les usages prennent au moins deux formes pas forcément exclusives l'une de l'autre : une gestion privée typiquement individualiste et une exploitation collective dans le cadre d'une association d'intérêts collectifs (AIC). Globalement les agriculteurs et les ruraux bénéficiaires de la nouvelle ressource créée : eau, restent faiblement organisés. Les quelques AIC récemment créées pour assurer à la place des services publics la gestion des retenues collinaires, sont encore très dépendantes d'une assistance matérielle et technique de l'Etat.

Le chapitre 5 est emprunté du « guide de conservation des eaux et du sol », manuel édité par le Ministère de l'Agriculture Tunisien (Direction de la Conservation des Eaux et des Sols) et la FAO. Ce chapitre est consacré à la conception et au dimensionnement de la digue des lacs collinaires et des ouvrages annexes.

Le dernier chapitre a pour thème l'hydrologie des lacs collinaires et présente les résultats d'un suivi des bilans en eau et en sédiments entrepris depuis 1994 sur un réseau pilote d'observations.

Ce document de travail est enrichi de plusieurs illustrations et cartes.

TABLES DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| I. LA TUNISIE : CLIMAT, RESSOURCES NATURELLES, EROSION..... | 4 |
| 1-1. CLIMATOLOGIE DE LA TUNISIE | 4 |
| 1-2. RELIEF ET GÉOLOGIE DE LA TUNISIE | 4 |
| 1-3. RÉGIME PLUVIAL..... | 4 |
| 1-4. RÉGIME THERMIQUE..... | 5 |
| 1-5. RÉGIME DES VENTS | 5 |
| 1-6. HUMIDITÉ..... | 5 |
| 1-7. EVAPORATION | 5 |
| 1-8. RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ET RESSOURCES EN EAU DE SURFACE..... | 5 |
| 1-9. LA VÉGÉTATION | 5 |
| 1-10. ZONES BIOCLIMATIQUES..... | 6 |
| 1-11. LES SOLS EN TUNISIE..... | 6 |
| 1-12. LES RESSOURCES EN EAU..... | 8 |
| 1-13. RESSOURCES AGRICOLES..... | 10 |
| 1-14. L'ÉROSION DES TERRES | 10 |
| 1-15. LA LUTTE ANTI-ÉROSIVE..... | 10 |
| 1-16. LES AMÉNAGEMENTS ANTI-ÉROSIFS..... | 12 |
| II. HISTORIQUE ET GEOGRAPHIE DES LACS COLLINAIRES..... | 15 |
| 2-1. LES AÇUDES AU NORDESTE BRÉSILIEN | 15 |
| 2-2. RÉUSSITE DE L'EXPÉRIENCE ITALIENNE..... | 15 |
| 2-3. LES RETENUES COLLINAIRES EN AFRIQUE SAHÉLO-SOUDANIENNE : L'EXEMPLE DU BURKINA-FASO..... | 16 |
| 2-4. LES LACS COLLINAIRES AU MAGHREB..... | 16 |
| 2-5. LES LACS COLLINAIRES EN TUNISIE | 17 |
| III. PLACE DES LACS COLLINAIRES DANS LA STRATEGIE DECENNALE DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE..... | 20 |
| 3-1. LA STRATÉGIE GLOBALE DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE | 20 |
| 3-2. LA PLACE DES LACS COLLINAIRES DANS LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT | 25 |
| 3-2.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DES LACS COLLINAIRES | 26 |
| 3-2.2. PROGRAMME DÉCENNAL ET ÉTAT D'AVANCEMENT..... | 26 |
| IV. LA GESTION COLLECTIVE DE LA NOUVELLE RESSOURCE OFFERTE PAR LES LACS COLLINAIRES..... | 28 |
| 4-1. L'EAU UN SUJET DE REGROUPEMENT DES POPULATIONS | 28 |
| 4-2. L'APPARITION D'UNE STRUCTURE "MODERNE" DE GESTION COLLECTIVE : LES AIC | 28 |
| 4-3. LES AIC DES LACS COLLINAIRES | 29 |
| 4-4. DIVERSITÉ DES FORMES DE GESTION DE L'EAU DES LACS COLLINAIRES | 31 |
| V. CONCEPTION DES LACS COLLINAIRES..... | 35 |
| 5-1. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE..... | 35 |
| 5-2. LES OUVRAGES ANNEXES..... | 40 |
| VI. HYDROLOGIE DES LACS COLLINAIRES DU SEMI-ARIDE TUNISIEN..... | 47 |
| 6-1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODES | 47 |
| 6-1.1. INSTALLATION EXPÉRIMENTALE D'UN LAC COLLINAIRE ET ACQUISITION DES DONNÉES | 47 |
| 6-1.2. MÉTHODE DU BILAN HYDROLOGIQUE..... | 47 |
| 6-1.3. RECONSTITUTION DES APPORTS IMMÉDIATS AU COURS D'UN ÉVÉNEMENT PLUVIEUX..... | 48 |
| 6-1.4. ESTIMATION DES DÉBITS INSTANTANÉS DÉVERSÉS..... | 48 |
| 6-1.5. ACTUALISATION DE LA COURBE DE CUBATURE DE LA RETENUE ET ESTIMATION DU TRANSPORT SOLIDE..... | 49 |
| 6-2. RESULTATS..... | 50 |
| 6-2.1. ETALONNAGE « HAUTEUR / DÉBIT » DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE..... | 50 |
| 6-2.3. RECONSTITUTION DES CRUES ENTRANT DANS LA RETENUE | 50 |
| 6-2.3. BILAN EN EAU DE LA RETENUE / RÉGIME HYDROLOGIQUE..... | 50 |
| 6-2.4. ENVAISEMENT / ÉROSION..... | 53 |

I. LA TUNISIE : CLIMAT, RESSOURCES NATURELLES, EROSION

1-1. Climatologie de la Tunisie

La Tunisie se répartie grossièrement en trois grandes régions géographiques, le Tell, la Steppe et le Sahara. Cette répartition est fondée essentiellement sur le climat.

La Tunisie possède environ 1300 km de côte, deux façades maritimes au Nord et à l'Est. L'influence de la mer peut pénétrer profondément à l'intérieur du pays jusqu'à 250 km sauf dans l'extrême Sud. Mais les obstacles montagneux méridiens arrêtent la pénétration des influences maritimes orientales pour les régions du Nord-Ouest et du Centre-Ouest.

La Tunisie s'ouvre sur la Méditerranée orientale par des régions de plaines et de collines d'altitude médiocre. La moitié du pays se trouve à moins de 200 m, l'altitude moyenne est de l'ordre de 300 m et le point culminant se trouve à Jebel Chaambi au centre est de 1544m.

La Tunisie s'étend à l'intérieur de la zone du climat subtropical sec ou méditerranéen caractérisé par l'existence de deux saisons ; une saison froide et pluvieuse (l'hiver) et une saison chaude et sèche (l'été). La pluviométrie annuelle atteint une moyenne de 300 à 800 mm. Toutefois cette pluviométrie est caractérisée par une irrégularité à la fois saisonnière et annuelle.

1-2. Relief et Géologie de la Tunisie

Le relief est formé essentiellement par trois principaux massifs montagneux ; au Nord les monts de Kroumérie et les Mogods, au Centre les hauts plateaux de la dorsale tunisienne et au Sud les monts de Matmata.

La Tunisie septentrionale renferme deux régions différentes ; le Tell avec des reliefs très variés, formé de chaînes de montagnes culminant à 1550 m et isolant des plaines détritiques fermées d'étendues relativement faibles. Les Steppes avec des plateaux descendant de 1000 m et atteignant le niveau de la mer. En effet ces deux régions sont séparées par la limite de crête de la dorsale. Cette limite paraît très importante du point de vue climatique car elle se présente comme obstacle aux vents dominants du Nord-Ouest qui sont souvent à l'origine des pluies.

Au sud du pays, on rencontre une grande zone dunaire (le grand erg oriental), des Chotts (Chott Jerid, El Gharsa, ...), des reliefs de cuestas (jebel Matmata), des plaines littorales et des steppes.

Il est à noter qu'un des traits des caractéristiques de la géomorphologie aride est l'extension des croûtes calcaires quaternaires. Ces croûtes sont réparties sur tout le territoire. Au sud dans les régions de Gafsa et de Gabes les croûtes calcaires sont remplacées par des croûtes gypseuses.

1-3. Régime pluvial

En Tunisie la saison des pluies va de septembre à fin mai. Les pluies d'été parviennent d'orages présentant un caractère torrentiel.

La pluviosité moyenne annuelle décroît assez régulièrement du Nord-Ouest (1500 mm) au Sud-Est (200 mm) jusqu'à la région sfaxienne, puis en allant vers le sud décroît jusqu'à environ 100 mm. Nous distinguons quatre grandes régions :

- a) Zone très pluvieuse où la pluviosité est supérieure à 600 mm. Cette zone s'étend sur la kroumérie Bjaoua et une partie des mogods.
- b) Zone pluvieuse où les quantités de pluies moyennes annuelles sont comprises entre 400 et 600 mm. Elle s'étend sur toute la vallée de la Madjerda, la région de Bizerte, les hautes plaines du centre et le Cap-Bon.
- c) Zone peu pluvieuse recouvrant le versant sud de la dorsale Tunisienne, l'ensemble du Sahel depuis la région d'Enfidha jusqu'à la Skhira. Le total annuel des pluies est compris entre 200 et 400 mm.
- d) Zone très peu pluvieuse dont le total annuel des pluies descend jusqu'à 90 mm. Cette zone comprend la partie du territoire située au sud de la ligne allant de Feriana à Jerba. Au sud de Nefta c'est le désert saharien.

1-4. Régime thermique

La température moyenne annuelle varie de 13.3°C à Makhtar, à 21.3°C à Tozeur. Le mois de janvier est d'une façon générale le mois le plus froid de l'année (2 à 8°C). Les mois de juillet et Août sont les mois les plus chauds (30 à 40°C).

1-5. Régime des vents

En Tunisie le vent souffle durant une partie de l'année, et en permanence sur la Tunisie centrale.

La direction des vents dominants oscille entre l'Ouest et le N.-O. et au Sud elle est N.E,N et S.O. c'est ce dernier vent S.O. qui donne lieu au sirocco (vent chaud) qui est plus fréquent en été qu'en d'autres saisons.

Les saisons durant lesquelles le vent possède la plus grande force sont : l'hiver pour le Nord et le Centre, le printemps pour le Nord-Est, le Sahel et le Sud.

1-6. Humidité

la Tunisie du Nord et les régions côtières sont moyennement humides, l'intérieur et le Sud sont moyennement secs.

1-7. Evaporation

l'évaporation est très importante en Tunisie ; elle croît du Nord au Sud de 1400 mm à 3000 mm environ.

1-8. Réseau hydrographique et ressources en eau de surface

a) réseau hydrographique

Au Nord, les oueds ont un débit pérenne et s'écoulent à la mer ; c'est le cas de la Madjerda, principal cours d'eau du pays. Dans le Centre, les deux principaux oueds Zeroud et Merguellil déversent leurs eaux dans la Sebka Kelbia qui à son tour déverse dans la mer pendant les grosses crues.

Dans le Sahel et le sud -Est les oueds sont mal développés, généralement à sec et ne ruissellent que très rarement.

b) Les apports

Les quantités de pluie reçue en Tunisie sont estimées à 32 109 m³ /an. La superficie du pays étant environ de 160 000 km², la pluviométrie moyenne annuelle serait de 200 mm.

L'eau de ruissellement est estimée à 2,2 109 m³. Les apports des crues représentent pour les oueds Zeroud et Merguellil de 60 à 99 % des apports totaux annuels, et pour l'extrême Nord la Medjerda de 30 à 85 %.

c) qualité des eaux

Salinité : à l'extrême Nord et pour les affluents de la rive gauche de la Madjerda, la salinité est relativement faible ; elle varie de 0,25 g/l à 2g/l. Les oueds du centre (le Zeroud et Merguellil) et les affluents de la rive droite de la Madjerda ont une forte salinité en étiage (3 à 9 g/l) qui décroît jusqu'à 0.5 g/l pendant les crues.

Turbidité : les concentrations sont très élevées elles varient de 0 g/l à 200 g/l. Les concentrations moyennes des sédiments en suspension sont estimées à 40 g/l pour les oueds du centre et de 10 à 40 g/l pour les différentes parties de la Madjerda.

1-9. La végétation

Le Nord siliceux et pluvieux de la Tunisie est essentiellement couvert de forêts de chêne-liège à partir de 600 m d'altitude et de pins maritimes sur le littoral gréseux à l'ouest de Tabarka.

Plus au sud, la dorsale tunisienne et les chaînes montagneuses du centre sont couvertes de pins d'Alep à partir de 600 à 700 m d'altitude.

Sur les terres rouges des hauts plateaux et sur les pentes rocheuses de la dorsale on rencontre le maquis d'oliolentisque.

1-10. Zones bioclimatiques

Les interférences du climat, de la géologie et de l'hydrologie divisent la Tunisie en différentes zones bioclimatiques. On distingue les bio-climats humide inférieur, aride supérieur et inférieur et saharien. La carte de la page suivante montre les divisions en étages bioclimatiques de la Tunisie et les processus de dégradation des sols.

1-11. Les sols en Tunisie

1-11-1. Caractéristiques générales des sols de Tunisie

L'évolution en générale des sols de Tunisie est dominée par la présence de l'ion Ca^{++} , un PH généralement alcalin voisin de 7 et une matière organique de teneur faible mais bien décomposée de type Mull.

1-11-2. Typologie des sols

Le jeu des différents facteurs de la pédogenèse a déterminé la formation de nombreux types de sols en Tunisie allant des sols à caractère podzoliques dans l'extrême Nord aux sols désertiques dans l'extrême Sud.

Dans le Nord, où l'on a des milieux bioclimatiques sub-humides et semi-arides supérieur et moyen, les sols bruns calcaires occupent les plus grandes superficies.

Les pédologues ont distingué plusieurs types de sols à mull, en fonction de l'intensité de lessivage de l'argile et du fer :

- Les sols bruns forestiers
- Les sols bruns lessivés
- Les sols lessivés et lessivés podzoliques

Sur les affluents marneux, on trouve les vertisols.

Dans le centre, où les étages bioclimatiques dominants sont le semi-aride et le sub-aride (aride supérieur et moyen), les sols bruns, isohumiques subtropicaux (bruns steppiques) peuvent être considérés comme des sols zonaux par excellence de la Tunisie centrale.

Vers le sud, apparaissent les sols calcimorphes gypseux . Cependant, il faut noter que ces sols sont sporadiques et que la partie du territoire du sud Tunisien (saharien) est constituée de rëgs et d'ergs ou il n'y a pas un vrai sol vivant actuellement.

Les sols peu évolués d'apport, les sols hydromorphes, les vertisols et les sols halomorphes (1.5 millions d'ha) existent un peu partout en Tunisie.

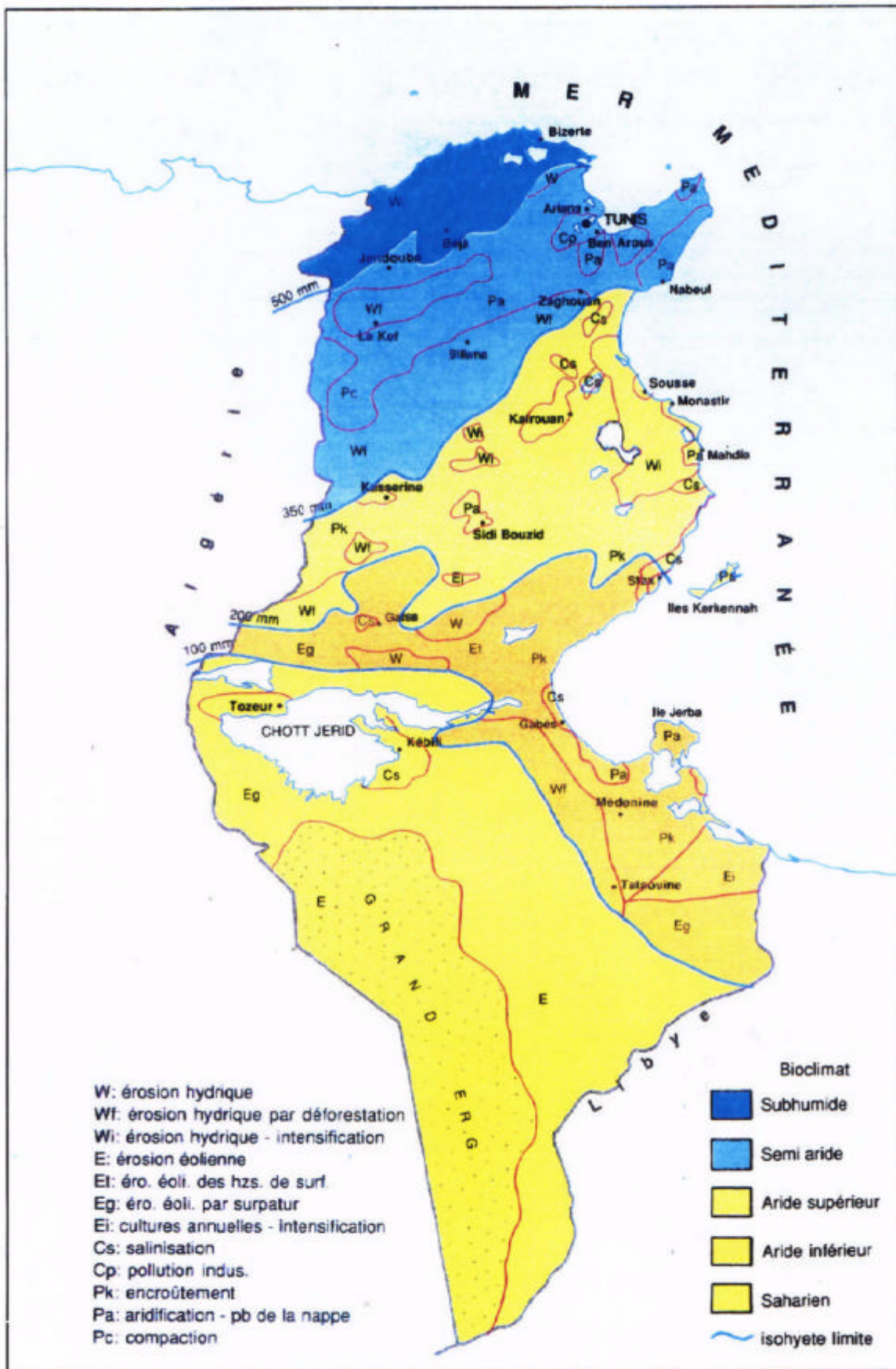
L'agriculture est une vocation essentielle de la Tunisie avec une superficie cultivable de 5 million d'ha, un climat irrégulier et une demande alimentaire en progression forte à cause d'une croissance démographique (plus de 9 millions d'habitant actuellement et plus de 10 millions en l'an 2000) et une amélioration du niveau de vie.

L'érosion des terres dans le monde rural de la Tunisie menace environ 3 millions d'ha, dont la moitié est gravement affectée, soit environ 33% de la superficie total du pays.

Les causes de cette érosion des terres, dans un pays à population rurale en croissance rapide, sont attribuées à la trilogie bien connu : déboisement, surpâturage et mauvaise gestion des terres agricoles.

La croissance démographique accélérée qui a duré plusieurs décennies en Tunisie, a entraîné une pression sur les ressources naturelles. Le déboisement est inévitable pour la mise en culture et la consommation de bois de chauffage. De même le surpâturage est aussi inévitable car, l'effectif des troupeaux croît aussi vite et souvent plus vite que celui de la population. Comme les meilleures terres sont réservées à l'agriculture, les éleveurs augmentent la densité de leur cheptel jusqu'à dépasser le seuil au delà duquel la régénération de la végétation naturelle (parcours) devient très difficile, où même impossible.

PROCESSUS DE DEGRADATION DES SOLS



- W: érosion hydrique
- Wf: érosion hydrique par déforestation
- Wi: érosion hydrique - intensification
- E: érosion éolienne
- Et: éro. éoli. des hzs. de surf.
- Eg: éro. éoli. par surpatur
- Ei: cultures annuelles - Intensification
- Cs: salinisation
- Cp: pollution indus.
- Pk: encroûtement
- Pa: aridification - pb de la nappe
- Pc: compaction

Bioclimat

- Subhumide
- Semi aride
- Aride supérieur
- Aride inférieur
- Saharien
- isohyete limite

Ainsi dans un tel contexte, où ce n'est pas le climat à lui seul qui diminue les ressources naturelles, mais l'augmentation de la population qui accroît les besoins, la lutte contre la dégradation des terres ne se limite plus à ralentir le déboisement, le surpâturage et l'érosion des terres cultivées. Elle doit aussi améliorer la productivité des terres agricoles.

1-12. Les ressources en eau

La Tunisie est dotée actuellement d'une infrastructure hydraulique dont dépend, dans une large mesure, le développement économique du pays. Les ressources en eau de la Tunisie sont estimées à 4540 millions de m³ répartis comme suit:

Répartition des ressources en eau potentielle en million de m³

| Ressources potentielles | Nord | Centre | Sud | Total |
|--------------------------------|------|--------|------|-------|
| Eaux de surface | 2185 | 290 | 225 | 2700 |
| Eaux souterraines ¹ | 555 | 454 | 831 | 1840 |
| Total | 2740 | 744 | 1056 | 4540 |

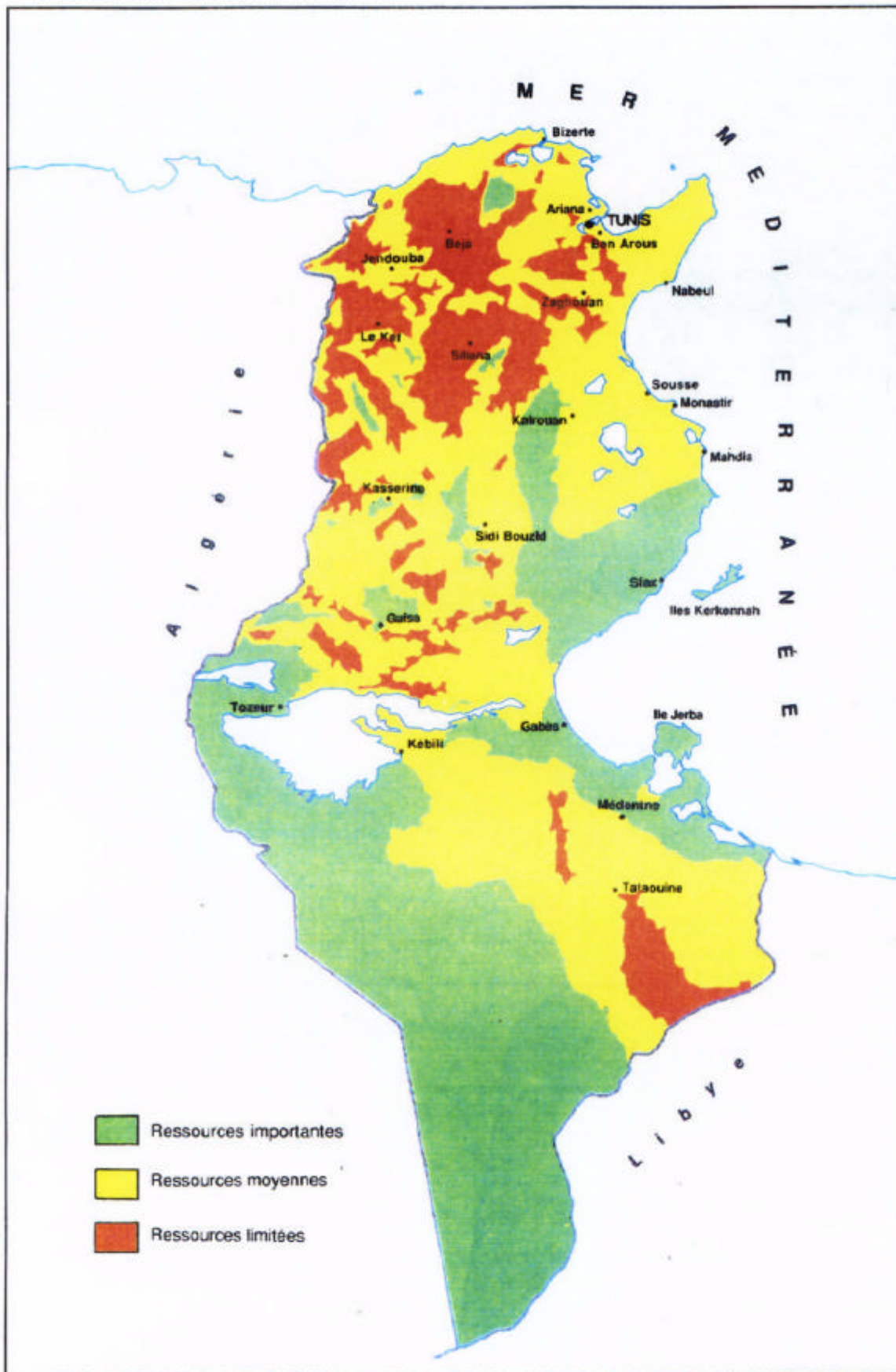
Sur un potentiel de 2.700 millions de m³/an, les ressources en eau de surface techniquement mobilisables par les barrages sont de 2.100 millions de m³/an. Toutefois, le volume actuellement mobilisé n'est que de 1421 millions de m³/an soit 53% des ressources en eau, il est réparti comme suit :

- Grands barrages : 1342 millions de m³/an
- Barrages collinaires : 17 millions de m³/an
- Ouvrage d'épandage : 23 millions de m³/an
- Lacs collinaires : 39 millions de m³/an

Comme conséquence de l'érosion des terres, cette infrastructure hydraulique est menacée par l'envasement et le colmatage prématuré. En effet environ 25 millions de m³ de sédiments se déposent annuellement dans les retenus des barrages entraînant la réduction de la capacité de stockage de ces dernières.

¹ Voir la carte des nappes souterraines (page suivante) de la Tunisie.

NAPPES SOUTERRAINES DE TUNISIE



1-13. Ressources agricoles

Terre et structure agraire : La Tunisie compte une superficie totale de 16.2 millions d'ha, la surface agricole utile s'étend sur 9 Millions d'ha dont 4,9 millions sont des terres cultivables et 4,1 millions d'ha en forêts et parcours (carte de l'occupation de l'espace).

Le nombre des exploitations agricoles est passé d'environ 325000 en 1962 à 385000 actuellement. La superficie moyenne des exploitations est de 14 ha et 67 % des exploitations ont une superficie inférieure à 10 ha. Les exploitations d'une superficie supérieure à 50 ha ne représentent de 5% du nombre total alors qu'ils occupent 40% de la superficie cultivable.

Le mode de faire valoir direct est dominant puisque 90 % des exploitants gèrent leurs propriétés.

Les superficies irriguées en intensif ont atteint 303 000 ha contre 225 000 ha en 1980 et 30 000 ha au cours des années 60. A la superficie irriguée en intensif s'ajoutent 91 000 ha en irrigation d'appoint.

L'occupation des terres se présente comme suit :

| | |
|--|-----------------------------|
| * Céréaliculture : 32 % | * Jachère : 18 % |
| * Arboriculture : 39 % dont oléiculture : 31 % | * Culture fourragères : 6 % |
| * Culture maraîchères : 2 % | * Autres cultures : 3 % |

1-14. L'érosion des terres

L'érosion des terres constitue un phénomène compliqué. Elle est le résultat de processus nombreux, dont on ne sait pas bien les mécanismes et les facteurs régulateurs. Les facteurs les plus importants sont le climat, le couvert végétal, les pratiques culturales, les caractéristiques du sol et la topographie.

Actuellement en Tunisie, les terres menacées par l'érosion couvrent une superficie de 3 millions d'ha dont 1,5 millions d'ha sont gravement affectés, ce qui se traduit par une perte annuelle d'environ 10.000 ha de terres agricoles.

Les pertes en terre se traduisent par une réduction systématique de la fertilité de terres agricoles et une baisse des rendements. On estime que les terres cultivables sur les 4,55 millions d'ha au-dessus de l'isohyète de 200 mm sont menacées par une érosion de plus en plus active se traduisant par une baisse de fertilité des sols.

1-15. La lutte anti-érosive

Devant la gravité et les conséquences de l'érosion sur les terres agricoles, la Tunisie a connu différentes tentatives de lutte anti-érosive durant les dernières décennies.

Cette lutte anti-érosive a évolué considérablement aussi bien au niveau de l'approche qu'au niveau des réalisations que ce soit concernant la maîtrise et la mobilisation des eaux de surface ou la gestion des terres agricoles.

Cependant, malgré les importantes réalisations enregistrées jusqu'à nos jours, les efforts fournis par l'administration et les exploitants demeurent insuffisants pour combattre ce « fléau », l'érosion, et mobiliser davantage les eaux de surface.

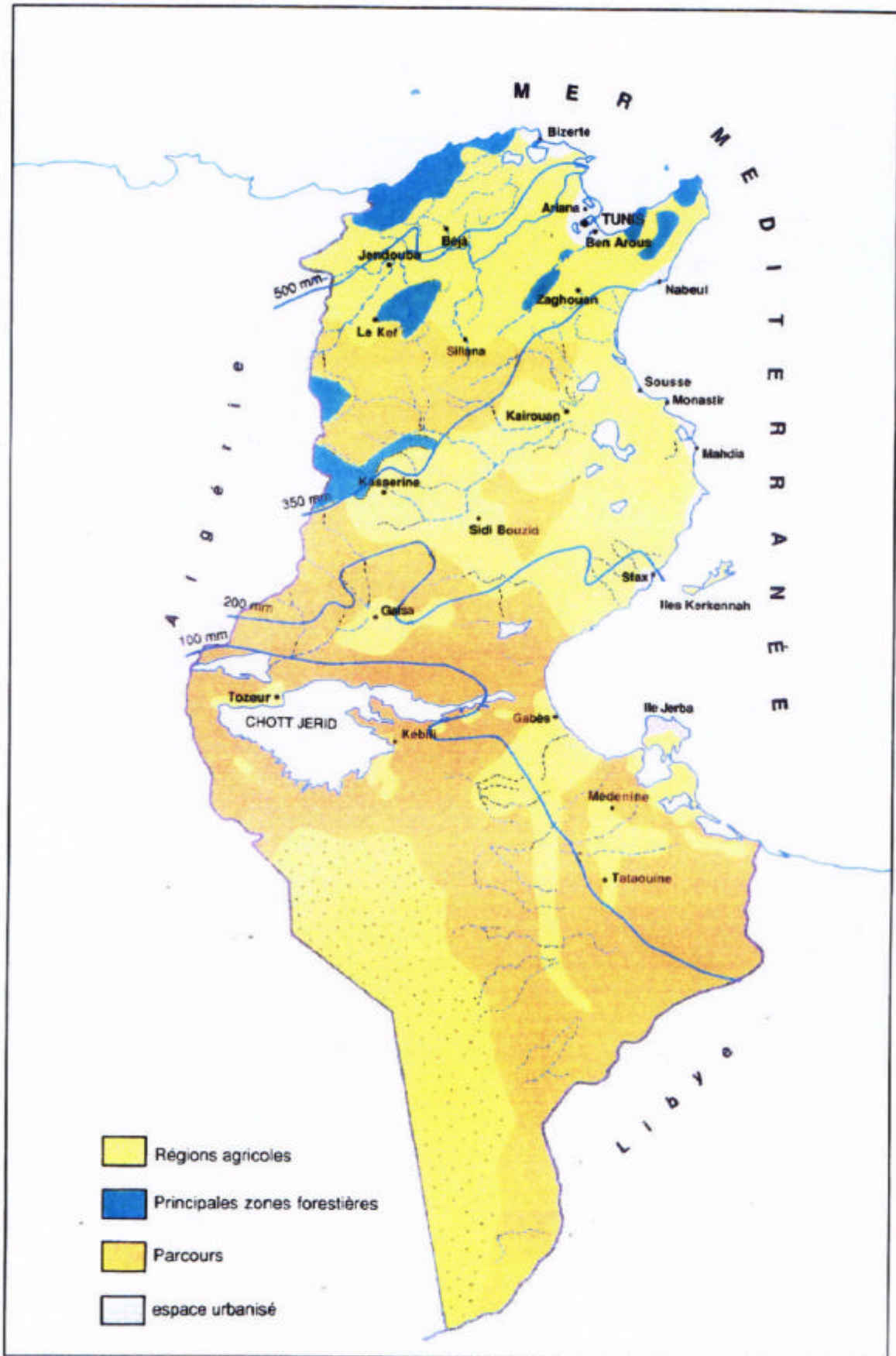
C'est dans ce contexte que la stratégie nationale de la C.E.S. (1990-2000) a été élaborée et adoptée.

Objectifs de la stratégie

Les principaux objectifs visés par la stratégie nationale de la C.E.S. sont :

- Augmenter la production agricole par l'amélioration et le maintien de la fertilité des terres;
- Réduire les pertes en terres agricoles qui sont estimées actuellement à 10.000 ha/an.
- Augmenter la production par l'installation de jessours dans le Sud Tunisien;
- Augmenter la recharge des nappes;
- Mobiliser par des ouvrages de conservation des eaux et du sol une partie des 500 millions de m³ d'eau de ruissellement qui se perdent annuellement dans la mer et les Sebkhas.
- Prolonger la vie active de nos barrages qui s'ensavent actuellement à un taux de 25 millions de m³/an.
- Atténuer les dégâts en aval occasionnés par les inondations et améliorer la durabilité des ouvrages.

OCCUPATION DE L'ESPACE



Le programme de la stratégie nationale de la C.E.S.

Le programme de la lutte anti-érosive adopté par la stratégie comprend :

- L'aménagement d'un million d'hectare,
 - * 672500 ha dans les bassins et les terres en pentes,
 - * 305000 ha dans les terres à vocations céréalière,
- La construction de 1000 lacs collinaires,
- La construction de 2120 ouvrages d'épandage des eaux de crues
- La construction de 2170 ouvrages de recharge des nappes
- La sauvegarde et l'entretien de 858000 ha des travaux déjà réalisés.

1-16. Les aménagements anti-érosifs

Les aménagements à concevoir ont pour objectif de stabiliser les terres et de contrôler les ruissellements. ces aménagements doivent se situer à l'amont de tout projet de développement. L'aménagement à prévoir comprend deux principales composantes, aménagement des versants et aménagement des voies d'eau, auxquelles se greffent certainement des mesures d'accompagnement appropriées et cohérentes avec le schéma global de développement.

1-16-1. Aménagement des versants

Sur les massifs montagneux, l'importance des traitements des versants est fondamentale dans le programme d'aménagement. Ils ont pour objectif de faire infiltrer ou faire ruisseler, selon le cas, les eaux afin d'empêcher leur concentration ou leur infiltration et causant respectivement les ravinements ou les glissements.

L'aménagement des versants comporte essentiellement l'édification de cordons en pierres sèches, les terrassements mécaniques, le reboisement, l'amélioration pastorale, les bandes enherbées. Signalons, en outre, la nécessité de la consolidation des banquettes et des cordons par la végétation, cactus ou acacia de préférence, qui en plus de leur action stabilisante joueront le rôle d'un complément de fourrage lorsque le besoin se fait sentir.

Afin de tirer au profit de l'eau emmagasinée, les fellahs pourront planter des arbres et mêmes des cultures maraîchères dans l'espace inter-banquettes. Les cuvettes individuelles dans les secteur arboricoles sont aussi vivement recommandées. Bien qu'efficace dans le freinage du ruissellement, elles sont à la portée du fellah qui pourra les réaliser sur son exploitation.

1-16-2. Aménagement des voies d'eau

Quant à l'aménagement des voies d'eau, il a pour objectif d'entreprendre différents travaux dans les oueds et les ravins (seuils en pierres sèches, seuils déversoirs en gabions ou en maçonnerie) visant la stabilisation des berges, des cours d'eau, le laminage des crues en prolongeant le temps de concentration des eaux en aval et l'alimentation des nappes phréatiques de la région. Tous les ravins et oueds dévalant les massifs montagneux et évoluant par érosion progressive sur les piémonts doivent faire l'objet d'un traitement approprié.

La localisation exacte des différents ouvrages doit être élaborée en tenant compte de la pente, du profil transversal et longitudinal de l'unité hydrographique. Le traitement dans tous les cas doit être réalisé de l'amont vers l'aval en stabilisant par enrochement ou végétalisation les têtes de ravins. Les secteurs soumis à la fois au ravinement et au glissement doivent faire l'objet d'attention particulière afin de ne pas favoriser une dynamique en combattant l'autre.

1-16-3. Les aménagements de conservation des eaux et du sol

Sur les parcelles cultivées sur des pentes inclinées, le système cultural n'est pas suffisant à lui seul pour lutter contre les pertes en eau et en terre. Il faut en associer des techniques conservatrices, de telle sorte que le labour, la préparation du sol, la plantation et la culture elle-même s'effectuent selon les courbes de niveau.

- Le labour en courbe de niveau

Cette pratique est la base de nombreuses techniques de conservation sur les terrains en pente. Le labour en courbe de niveau réduit l'érosion en raison de l'infiltration accrue dans les raies de labour et de l'obstacle que celles-ci opposent au ruissellement. Cette opération devrait donc être vulgarisée sur toutes les terres inclinées.

- Les banquettes

Ce type de traitement est établi sur des pentes inférieures à 25% sur les terres non marnieuses et où le morcellement ne pose pas de problèmes. ces banquettes se composent d'un canal limité vers le bas par une butte ou bourrelet et ayant pour fonction de retenir les eaux de ruissellement, afin d'améliorer le bilan hydrique de l'inter-banquette. Les extrémités de ces banquettes seront munies de radiers en pierres rejointoyées pour évacuer l'excédent des eaux de ruissellement sur les terres en pente est de ralentir l'écoulement de l'eau afin d'éviter l'affouillement des exutoires. Ceux-ci seront aménagés à partir de ravines ou de talwegs qui devront être stabilisés soit par végétalisation soit par seuils en pierres sèches.

La règle, il ne faut jamais ouvrir de banquettes si l'ont n'est pas sûr de pouvoir évacuer les eaux de ruissellement sans risques.

Au débouché de la banquette dans l'exutoire la section du canal doit être large et plate et protégée par un enherbement pérenne ou par un pacage de pierres.

- Les cordons en pierres sèches

Le rôle des cordons en pierres sèches en zones agricoles est multiple, il permet l'épierrage des parcelles et il marque les courbes de niveau pour la mise en culture et le labour. Dans la mise en œuvre de cette action, on veillera en particulier à l'abondance de pierres sur place et à l'évaluation de l'aptitude agronomique de la parcelle. Du point de vue technique, une attention particulière doit être accordée à un repérage correcte du niveau de l'aménagement d'ouverture en quinconce. Les dimensions généralement utilisées sont 60 m de longueur et 0.60 m de hauteur avec une fondation de 0.20m.

Cet aménagement permettra la réduction de la vitesse de ruissellement l'infiltration de l'eau à travers les pierres et le dépôt des sédiments du côté amont de ces ouvrages. Toutefois la durée de vie de ces ouvrages étant généralement faible (5 à 10 ans). Il faut prévoir leur consolidation par des espèces fourragères type Cactus, Atriplex, Acacia...

- Bandes enherbées

Sur les terres cultivées en pente douce, dans le cas où l'on ne peut recourir à des techniques telles que les banquettes, à cause de la trop faible épaisseur du sol, ou de la texture fine, un système de cultures pérennes en bandes peut être efficace. On peut l'utiliser pour protéger des champs de grande surface avec de longues pentes, qui ont été labourés et cultivés d'un seul tenant et sont de ce fait exposés sur toute leur surface à une érosion en nappe intense. Dans ces conditions, un ruissellement apparemment inoffensif partant du haut de la pente acquiert du volume et de la force vive et se charge de sédiments, jusqu'à devenir dévastateur en arrivant en bas de la pente. Des bandes de cultures pérennes en courbes de niveau (type espèces fourragères de préférence) auront pour effet de fractionner la pente, et fourniront une protection contre l'érosion.

Il s'agit de bandes tampons permanentes étroites, couvrant 10 à 20 % de la superficie de l'exploitation. La largeur minimale d'une bande pérenne est de 2 à 6 m, et la distance entre deux bandes voisines est de 30 à 40 m, selon la pente, l'érodibilité des sols. On donne à la limite inférieure de la bande une pente longitudinale de 0,3 à 1% pour permettre d'y établir un fossé qui drainera les eaux vers un exutoire permanent.

- Correction des ravins

Ce traitement a pour objectif de réduire autant que possible la quantité d'eau qui s'écoule dans les ravins et de retenir les transports solides charriés de ces cours d'eau, les têtes des ravins doivent être protégées par enrochement, ou fossés de garde, répartissant l'eau sur la surface traitée. Dans les lits des ravins, on établira des trous sur place. Les gabions et les branchages sont sans doute parmi les meilleurs modes pour réduire les ravinelements.

- Aménagements des voies d'eau

L'opération consiste à édifier des seuils déversoirs en gabion pour le laminage des crues et la recharge de la nappe phréatique lorsque les conditions s'y prétendent. Les oueds à bassin de réception assez important conviennent à cette intervention.

L'intérêt de la population est un relatif respect des aménagements de correction de ravins qui s'obtiennent plus facilement par l'installation d'espèces fourragères.

- Les périmètres combinés

Il comportent plusieurs actions sur une même exploitation par exemple, traitement mécanique, traitement de ravins avec végétation plus plantation d'arbres fruitiers. Ce type d'aménagement aurait des résultats plus satisfaisants car il implique nécessairement d'une part l'engagement et l'adhésion de la population et d'autre part, une approche multidisciplinaire de la mise en valeur du terrain. L'implication de la population dès la conception du projet et leur encadrement pour la gestion du périmètre garantissent la viabilité de l'opération.

II. HISTORIQUE ET GEOGRAPHIE DES LACS COLLINAIRES

Les retenues collinaires actuellement, très fréquentes dans plusieurs régions, sont inspirées de principes précurseurs vieux de plusieurs millénaires. Dès le premier siècle après J. C., les Yéménites avaient construit un grand nombre de petits ouvrages dans les vallées et en avaient même creusé le long des pentes (Conac, 1978).

Au Brésil et en particulier dans la région du Nordeste, la construction des premiers aménagements collinaires dits "açudes" remonte à 1830. Ce sont les progrès enregistrés après la seconde guerre mondiale dans la technique des petits barrages en terre, qui ont permis la multiplication rapide de réserves destinées entre autres à l'irrigation et qu'il est convenu d'appeler, notamment en Tunisie, lac collinaire.

En Europe, de telles infrastructures sont très répandues en Italie et en France dans les coteaux de Gascogne et les marges pyrénéennes d'une façon générale. Le principe de la construction des lacs collinaires est né en Italie du Nord vers l'année 1951 (Darves-Bornoz et Clement, 1969). Au Maghreb central, le développement de cette technique de collecte des eaux et de protection des grandes infrastructures s'est instruit de la réussite de l'expérience italienne.

2-1. Les Açudes au Nordeste brésilien

L'açude est un nom donné dans le Nordeste brésilien aux barrages et retenues collinaires de toute taille. Il est le plus ancien au monde de tous les ouvrages de ce type. L'açude représente, depuis bientôt deux siècles, un moyen original pour lutter contre l'irrégularité des écoulements et atténuer l'effet des sécheresses.

Ce sont les sécheresses de la décennie 1820-1830 qui ont contribué au démarrage des açudes (Molle, 1992). Ces ouvrages privés offraient en l'absence d'autres techniques le stockage et la conservation d'une partie des eaux de ruissellement des mois pluvieux de l'année.

Jusqu'à 1906, date d'achèvement du premier grand açude public, ce sont des initiatives privées qui ont développé cette technique de réservoirs de petite taille construits par des moyens rudimentaires affectant leur durée de vie (Molle, 1991). Actuellement, on compte 450 açudes de capacité supérieure à 1 million de mètres cubes construits par l'Etat brésilien et plus de 70 000 petits réservoirs privés. Dans certaines régions, à l'intérieur du Rio Grande de Norte par exemple, la densité est de l'ordre d'un açude par kilomètre carré et le volume emmagasiné est alors faible de l'ordre de quelques milliers de mètres cubes par açude (Leprun et Molinier, 1995).

De par leur grand nombre, les açudes sont devenus un élément du paysage du Nordeste brésilien et ont permis le développement d'une petite agriculture irriguée. Leurs limites de fonctionnement résident essentiellement dans les risques d'assèchement, surtout pour les plus petits réservoirs au cours des mois où la demande en eau est la plus importante, à cause de la perte d'une lame importante d'eau par évaporation² et dans certains cas par infiltration. La salinisation de l'eau accumulée dans les açudes constitue aussi une menace importante à la pérennité de la ressource (Cadier, 1991). Dans leurs recommandations Leprun et Molinier (1995) insistent sur la nécessité de constituer des réserves en eau capables de résister à plusieurs années de sécheresse, en évitant la prolifération de petits barrages et en veillant à ce que l'eau soit rapidement utilisée.

2-2. Réussite de l'expérience italienne

En Italie, l'histoire de l'implantation et de la multiplication de ces ouvrages est très particulière et repose sur "la nécessité de trouver une utilisation à l'important matériel de terrassement de grosse capacité laissé par les armées américaines après la fin de la guerre, jointe à l'obligation de trouver une solution pour améliorer l'agriculture des collines de Piémont et de la Lombardie, dont le retard économique sur les exploitations irriguées de la plaine de Po ne pouvait que s'intensifier". Les ingénieurs italiens ont ainsi été amenés à construire des petits barrages en terre de quelques dizaines de milliers de mètres cubes de capacité pour favoriser l'irrigation des terres immédiatement dominées (Carbonières, 1969).

Les premières entreprises ont connu un succès rapide ce qui a amené le Gouvernement Italien à créer dès 1953 un Office des lacs collinaires, dont le but était de promouvoir le développement de tels ouvrages. Les conditions naturelles favorables à la construction de digues en terre formant retenue ont rendu possible la multiplication de ces ouvrages, depuis la petite digue de 4 ou 5 mètres de hauteur retenant quelques milliers de mètres cubes d'eau, destinée à l'irrigation de quelques hectares jusqu'à la digue de 20 mètres de hauteur et dont le

² Selon A. LARAQUE "La hauteur d'eau annuelle évaporée d'une nappe d'eau libre représente sous le climat semi-aride brésilien environ trois fois la hauteur des précipitations annuelles."

volumc de la retenue peut satisfaire l'irrigation de plusieurs centaines d'hectares. Ainsi, leur nombre a évolué avec une vitesse importante. Il était de plusieurs milliers (Carbonières, 1969) en 1969 permettant la collecte de plusieurs dizaines de millions de mètres cubes d'eau destinée à l'irrigation.

Le développement et la réussite en Italie de ces petits ouvrages ont été pour une grande part à la base de leur adoption dans de nombreux pays et en particulier dans l'ensemble du Bassin méditerranéen (sud ouest de la France, Maroc et Algérie) et en Afrique en particulier au Burkina-Faso.

2-3. Les retenues collinaires en Afrique Sahélo-soudanienne : l'exemple du Burkina-Faso

Dans cette région le climat à l'image de celui du sud de la Méditerranée est marqué par une intense sécheresse saisonnière. Pour atténuer l'influence de ce phénomène de petits ouvrages de stockage et de maîtrise des crues dans les bas-fonds ont été conçus et aménagés au début des années 1970.

Ce sont des retenues de faible capacité allant de quelques dizaines à 25 milles mètres cubes servant à des utilisations traditionnelles : abreuvement des troupeaux, irrigation par submersion en aval et usages domestiques.

"... Les techniciens opérateurs des petits projets d'aménagement en hydraulique rurale ont été fortement sollicités par des villageois soucieux de mieux maîtriser les facteurs eau et sol dans leur environnement" (Berton, 1986).

Le manque d'études préalables intégrant les thèmes socio-économiques (organisation foncière, débouchés des produits, organisation des producteurs, gestion) et les thèmes agro-écologiques (impact sur les systèmes de production, impact sur le milieu naturel) sont à l'origine des faibles réussites des aménagements de bas-fond au Burkina-Faso.

2-4. Les lacs collinaires au Maghreb

Les lacs collinaires constituent aujourd'hui dans les pays du Maghreb une technique de collecte des ressources en eau de surface utilisée pour plusieurs usages. Les objectifs assignés à ces ouvrages sont différenciés selon les pays.

Au Maroc : des lacs pour l'abreuvement de bétail

L'utilisation de la technique de lacs collinaires au Maroc date depuis fort longtemps et bien avant l'entreprise italienne (Benyounes, 1985). Il s'agit plutôt de petites retenues traditionnelles dites "Rdirs" aménagées par les associations d'éleveurs d'ovins et de caprins dans un relief de collines situées à la limite de l'aridité (100 à 400 mm) et où les conditions de mobilisation des ressources profondes est difficile faute de moyens et de techniques appropriés à cette époque. L'objectif est de répondre à des besoins particulièrement précis d'abreuvement du bétail.

Puis, fascinés par la réussite italienne et en fonction des possibilités techniques nouvelles que donnaient les machines de tassement, les responsables marocains ont réétudié le concept de l'aménagement collinaire et un plan d'équipement de tout le territoire collinaire au moyen d'un ouvrage tous les 10 km a été mis en œuvre. En 1953, on a avancé le chiffre de 200 aménagements ainsi réalisés (Benyounes, 1985).

Les nouveaux lacs collinaires "modernes" sont de plus grande taille: la capacité des réservoirs s'étend de 120 à 200 mille mètres cubes. Les bassins versants des retenues varient de 5 à 10 km². Construits avec la participation des populations locales, ces ouvrages ont été appréciés des éleveurs des hauts plateaux en raison surtout de leur bonne efficacité technique (Benyounes, 1985). Ainsi, l'essai est renouvelé chaque fois qu'un tel besoin se manifeste et que les conditions naturelles sont propices.

Il faudra attendre 1985, comme en Algérie, pour qu'un vaste programme visant à couvrir tout le territoire national marocain par des retenues et lacs collinaires voit le jour avec l'appui des autorités gouvernementales et des services spécialisés.

En Algérie: histoire brève et des réussites très localisées

Jusqu'à son indépendance en 1962, l'Algérie n'a connu que la priorité absolue accordée par les colons à la grande hydraulique (14 barrages construits entre 1830 et 1962). Déjà au lendemain de cette date, en s'inspirant comme au Maroc de l'exemple italien qui a été une réussite, le Gouvernement algérien a envisagé un grand programme d'édification de lacs collinaires. Mais les études technico-économiques lancées à ce sujet ont très vite fait ressortir les difficultés inhérentes au contexte algérien : une plus forte irrégularité des pluies, des pentes

accentuées, et la possibilité d'envasement rapide font que les petits barrages en terre, au lieu d'avoir en moyenne 7 mètres de hauteur comme en Italie, doivent au moins atteindre 15 mètres pour une efficacité comparable; il s'agit déjà de barrages collinaires assez coûteux (Anonyme, 1985).

La réalisation de la première retenue collinaire suivie rapidement par plusieurs autres date seulement de 1976 à Béni-Slimane (Bouira). Les résultats de l'entreprise se sont vite avérés décevants : envasement rapide, eau mal utilisée et coût relativement élevé³.

Malgré ces conclusions et les particularités du climat et du relief algérien, l'Etat a relancé en 1985 un grand programme comprenant 700 retenues et 300 barrages collinaires. Dans la pratique, il s'agit d'ouvrages collinaires de taille très variable.

2-5. Les lacs collinaires en Tunisie

2-5.1. Aménagement traditionnel valorisé

En Tunisie, la technique des lacs et retenues collinaires a été introduite au début de ce siècle dans la région de Bizerte au nord du pays. Au départ la rentabilité de ce type d'aménagement a été jugée meilleure dans les bioclimats humide et subhumide⁴. El Amami estimait le nombre souhaitable d'implantation de ces ouvrages à une centaine d'unités. Comme tout aménagement traditionnel construit avec l'emploi de matériaux rudimentaires (terre) et des moyens techniques sommaires, les retenues collinaires de cette époque étaient de petite taille. Entièrement réalisées par les populations locales, ces retenues étaient considérées alors comme "l'un des facteurs de mise en valeur agricole dans ces régions". La mobilisation des eaux de ruissellement constituait la fonction principale de ces ouvrages.

2-5.2. Aménagements de protection

La difficulté d'accéder (pistes de circulation difficile et importance de la propriété privée) aux sites des retenues collinaires dans le Nord, explique probablement en grande partie l'absence de données chiffrées sur le fonctionnement de ce type d'aménagement de mobilisation des eaux de ruissellement.

Après une assez longue période d'abandon du choix de ces infrastructures, c'est à la fin des années soixante que l'on s'intéresse de nouveau aux lacs collinaires. On imaginait déjà pouvoir maîtriser les flux hydriques de surface en agissant directement à l'amont comme sur le Haut Merguellil où une quarantaine de lacs collinaires⁵, conçus et réalisés au cours d'un programme Tuniso-américain, ont vu le jour entre 1968 et le milieu des années 1980. Les enjeux de développement et les priorités ayant changé c'est un programme de grande hydraulique, avec les barrages de Sidi Saad sur le Zéroud (1982) puis d'El Houareb sur le Merguellil (1990), qui a rapidement prévalu : ainsi tout danger d'inondation de la ville de Kairouan était définitivement écarté et des possibilités de développement de grands périmètres irrigués étaient offertes.

Toujours dans une optique de protection des zones aval et de lutte générale contre l'érosion, on a continué, mais sans études préalables, la construction d'une quarantaine de lacs collinaires éparpillés sur toute la zone semi-aride du pays allant de Nabeul au Nord-Est jusqu'au sud de Siliana et Kairouan. En 1990 le nombre de lacs collinaires réalisés grâce aux investissements de l'Etat était estimé à 87, permettant de retenir théoriquement et annuellement quelques 5 millions de mètres cubes (tableau n°1) d'eau utilisée pour différentes fins (recharge, abreuvement du cheptel et irrigation de complément).

³ ANONYME. op. cit.

⁴ EL AMAMI. op. cit.

⁵ Ces lacs sont situés pour leur majorité dans les gouvernorats de Siliana (Kesra, Makthar et Rouhia) et de Kairouan (Haffouz et Ousslatia). Les réservoirs de petite taille allant de 5000 mètres cubes jusqu'à un maximum de 50000 mètres cubes. Les sites d'implantation sont difficiles à reconnaître suite aux inondations et aux pluies exceptionnelles qui sont survenues depuis leur construction.

Tableau n° 1 : Les réalisations de lacs collinaires de 1960 à 1990

| Période | Nombre de lacs collinaires réalisés | Volume d'eau mobilisé en millions de m3 |
|-----------|-------------------------------------|---|
| 1960-1987 | 40 | 2.42 |
| 1988-1989 | 22 | 1.12 |
| 1990 | 25 | 1.45 |
| Total | 87 | 4.99 |

Source: Stratégie nationale pour la C.E.S., juillet 1991

2-5.3. Aménagement à objectifs multiples

Au début des années 1990 les projets d'aménagement changent notablement de dimension. Ainsi la réalisation de 1000 lacs collinaires auxquels s'ajoutent 4000 ouvrages d'épandage des eaux de ruissellement est l'une des quatre composantes du projet décennal de la Direction CES du Ministère de l'Agriculture tunisien prévoyant par ailleurs les aménagements de 600 000 hectares de terres en pente au moyen de banquettes mécaniques, de 400 000 hectares de terres céréalières par des techniques dites douces matérialisant les courbes de niveau et enfin la stabilisation des surfaces ainsi protégées.

Dans cette stratégie, l'opération lac collinaire, aux conceptions technique et socio-économique relativement nouvelles, apparaît comme une composante majeure en complément de l'autre stratégie qui vise à maîtriser la totalité des eaux de surface d'ici à l'an 2000. C'est également la plus coûteuse à l'hectare aménagé, et en même temps la plus innovante et transformatrice du paysage, susceptible de modifier profondément les rapports entre les facteurs traditionnels de la production agricole et les comportements sociaux face à la disponibilité supplémentaire d'une ressource naturelle renouvelable rare et vitale: l'eau (Talineau et al., 1993).

2-5.4. Etendue du projet des lacs collinaires

Etendu en 1994 à quelques gouvernorats du Sahel (Monastir, Mahdia et Sfax) et au gouvernorat de Sidi Bouzid, le projet lac collinaire concerne désormais toute la zone semi-aride, soit environ la moitié de la surface du pays. Bien que la variabilité des potentialités naturelles soit forte entre les régions, tous les endroits où sont localisés les retenues collinaires présentent relativement les mêmes caractéristiques d'état de développement: pauvreté aiguë, éloignement des centres de communication et de développement, analphabétisme etc. Les conditions naturelles de mise en valeur agricole sont tout aussi défavorables et risquées : topographie accidentée, sol de qualité souvent médiocre et pluviosité faible et irrégulière à caractère torrentiel.

C'est à partir de 1990 puis avec l'adoption du programme triennal 1992-94 que l'opération "lacs collinaires" prend toute son ampleur et sa véritable signification. Les gouvernorats les mieux dotés de ce type d'infrastructures, à l'horizon de l'an 2000, sont dans l'ordre ceux de Zaghuan (120) Siliana et Le Kef (120 lacs chacun) puis Kasserine (100), Bizerte, Jendouba, Béja et Nabeul (80 lacs chacun).

2-5.5. Objectifs assignés aux lacs collinaires

Dans les divers plans de développement et les documents de la stratégie de la CES, les lacs collinaires sont réputés répondre au moins aux cinq objectifs suivants :

- une protection d'infrastructures aval (barrage, route, périmètre aménagé, etc.),
- une recharge de nappe,
- une contribution à la récupération des eaux qui se perdent annuellement dans la mer et les sebkhas,
- un développement de petits périmètres irrigués,
- l'abreuvement du cheptel et une utilisation domestique de la ressource en eau ainsi créée.

Cette formulation globale laisse implicitement entendre que la réussite sera proportionnelle à la plus grande satisfaction possible du plus grand nombre de ces objectifs. Or une argumentation solide et une justification de chacune de ces finalités laisse entrevoir, non seulement l'existence de conditions précises à leur aboutissement, mais aussi une incompatibilité de réalisation simultanée pour certains. Déjà on perçoit la nécessité d'opérer un choix d'objectifs, pour chaque ouvrage envisagé, qui conduira à ne plus considérer une entité d'aménagement aux caractéristiques et fonctions standards mais des types de lac collinaire avec des rôles spécifiques préalablement déterminés.

Références bibliographiques

- ACHOURI, M., 1993.- La conservation des eaux et du sol en Tunisie : bilan et perspectives. Séminaire : agriculture, durabilité et environnement, ATA - IAMZ, Tunis. 14 p.
- ALBERGEL J., 1988.- Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m² au km², études des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Ed. ORSTOM. Coll. Etudes et Thèses. 341 p.
- ANONYME, 1985.- La politique hydro-agricole de l'Algérie : données actuelles et principales contraintes.
- BENYOUNES O. C., 1985.- La gestion des retenues : les lacs collinaires au Maroc. Ouvrages d'irrigation- Retenues collinaires (Sophia-Antipolis), 13 février - 5 mars 1985.
- BERTON S., 1987.- Petits ouvrages d'aménagement de bas-fonds en Afrique de l'Ouest : Réussir avec quels outils. In. Les Cahiers de la Recherche Développement n° 14-15 - juin - septembre 1987. pp. 53-58.
- CADIER E., 1991.- Hydrologie des petits bassins du Nordeste brésilien semi-aride : transposition hydrologique. Thèse de doctorat USTL, Montpellier, 414 p.
- CARBONNIERES R., 1969.- Importance technique et économique des retenues collinaires. Bilans et perspectives. In. L'EAU n° 10, pp. 427-437.
- DARVES-BORNOZ R., CLEMENT, 1957.- Les barrages collinaires en Italie. Rapport de mission B.T.G.R. n° 36. Cités par CARBONNIERES, 1969. In. L'EAU n° 10, octobre.
- EL AMAMI SI., et coll., 1983.- Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. CRGR, Tunisie, 69 p.
- FAUCK R., LAMARY M., BACHTA M.S., et al, 1991.- Evaluation sur les techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Projet PNUD/FAO TUN 86-020. In : Doc. mult., 90 p.
- FUNEL J.-M., LAUCOIN G., 1981.- Politiques d'aménagements hydro-agricole. PUF. Paris. 164 p. + annexes.
- GRAAF, J. de, 1993.- Soil conservation and sustainable land use ; an economic approach. Royal tropical institute, Amsterdam, 191 p.
- GRIFFON M., 1992.- Economie institutionnelle et gestion des ressources naturelles renouvelables. Economie Rurale, n° 208-209, pp. 70-74.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE. Direction des Forêts, 1977.- Etude des priorités d'intervention pour la protection du barrage du Nebhana contre les atterrissements. Projets FAO SIDA TF/TUN 5 et 13 SWE. 26 p. + cartes.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE. Direction de la CES, 1993.- Stratégie nationale de la CES (1990-2000). Copie revue et modifiée.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE. Direction de la CES, 1995. Guide de conservation des eaux et du sol. Projet PNUD/FAO TUN/86/020. 274 p.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE. Les divers Plans de Développement Economique et Social, depuis 1962.
- MINISTERE DU PLAN ET DU DEVELOPPEMENT REGIONAL. INS, 1993.- Enquête nationale sur le budget et la consommation des ménages (1990). Volumes A et B.
- MINISTERE DU PLAN ET DU DEVELOPPEMENT REGIONAL. INS, 1994.- Premiers résultats du recensement général de la population et de l'habitat, 62 p.
- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 1992. Rapport national pour la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement. 104 p. + annexes.
- MISSAOUI H., 1989.- Aperçu sur le programme national de la CES. In Revue des Régions Arides. Numéro spécial, décembre 1989, pp. 59-69.
- MISSAOUI H., 1994.- La conservation des eaux et du sol en Tunisie : 1990-2000. Séminaire sur la conservation des eaux et des sols, Kairouan, 30 mai-1^{er} juin 1994, 15p.
- MOLLE F., 1992.- Quelques aspects historiques de la problématique de l'eau dans le Nordeste brésilien. Intervention aux journées CIRAD-SAR : systèmes irrigués, 7 p.
- MOLLE F., 1991.- Caractéristiques et potentialités des aqües du Nordeste brésilien semi-aride. Thèse sciences, Université de Montpellier-II, 380 p.
- SELMIS S., 1996.- Interventions de l'Etat en milieu rural et réactions des collectivités locales face à la gestion d'une ressource rare . Les lacs collinaires dans le semi-aride tunisien. Thèse de Doctorat. ENSA - Montpellier, 416 pages.

III. PLACE DES LACS COLLINAIRES DANS LA STRATEGIE DECENNALE DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE

3-1. La stratégie globale de développement agricole

La Tunisie a mis en œuvre depuis 1990, une stratégie globale de développement agricole du pays. Comme l'indique le tableau n° 2, la mobilisation des eaux de toute nature et pour différentes fins (irrigation, eau potable, etc.) et la sauvegarde du patrimoine sol constituent les principaux éléments (48 % des investissements agricoles du VIII Plan) de cette stratégie qui comporte cinq axes :

- La sauvegarde, la mobilisation et l'utilisation rationnelle des ressources hydriques.
- La conservation et la protection du milieu agricole.
- L'amélioration de la productivité du secteur agricole.
- La mise en œuvre de plans relatifs à l'intensification des productions et au développement de l'agro-alimentaire.
- L'amélioration de l'environnement général de l'activité agricole.

Tableau n° 2 : Investissements par sous-secteurs. Prévisions du VIII Plan (1992-1996)

| | Réalizations VII Plan | | Prévisions du VIII Plan | |
|--|------------------------|------|-------------------------|------|
| | 10 ⁶ dinars | % | 10 ⁶ dinars | % |
| Hydraulique agricole | 678.7 | 39.9 | 1221.9 | 33 |
| Forêts - CES | 143 | 7.9 | 592.3 | 15.3 |
| Pêche | 182.2 | 10.3 | 319.9 | 8.3 |
| Arboriculture | 195.2 | 11 | 385.7 | 9.6 |
| Matériel agricole | 158.2 | 9 | 512.2 | 13.2 |
| Elevage | 186.7 | 10.7 | 475.8 | 12.3 |
| Divers PDRI, recherches et autres services | 207.5 | 11.8 | 361 | 8.3 |
| Total | 1751.5 | 100 | 3868.8 | 100 |

Source : VIII Plan de développement économique et social

On remarque d'après ce tableau que la structure des investissements agricoles reste encore dominée par l'hydraulique qui voit toutefois sa part diminuée de près de 7 points entre les deux plans. La part de la protection des ressources naturelles (forêts et CES) a considérablement augmenté de l'un à l'autre plan en passant de 8 % à 15 % : le volume d'investissement évalué en prix courants est multiplié par 4 en passant de 143 millions à 592.3 millions de dinars.

3-1.1. La stratégie de développement des ressources en eau

Un effort supplémentaire, relativement considérable, reste encore à accomplir pour la mobilisation des dernières ressources naturelles et la rationalisation des usages d'ici à l'an 2000. Pour y parvenir, l'Etat a préparé et met en œuvre une stratégie précise, délicate à conduire et encore coûteuse.

3-1.1.1. La mobilisation de l'eau par les lacs collinaires : quantités faibles mais précieuses

La stratégie de développement fixe comme ultime objectif la mobilisation, par les différents ouvrages possibles, de la totalité des ressources en eau du pays actuellement identifiées (tableau n° 3). Le coût total prévisible de la mise en œuvre de cette stratégie s'élève à 1958 millions de dinars dont plus des quatre cinquième sont affectés aux eaux de surface.

Tableau n° 3 : Programme de mobilisation des ressources en eau

| Type | Nombre | Volume mobilisé 10 ⁶ m ³ | Coût 10 ⁶ dinars | Coût du m ³ d'eau mobilisé en dinar |
|------------------------|--------|--|-----------------------------|--|
| Barrages | 21 | 739 | 923 | 1,2 |
| Barrages collinaires | 203 | 110 | 400 | 3,6 |
| Lacs collinaires | 1000 | 50 | 100 ⁶ | 2 |
| Ouvrages d'épandage | 4000 | 43 | 38 | 0,9 |
| Forages d'exploitation | 610 | 288 | 55 | |
| de reconnaissance | 1150 | - | 170 | 0,8 |
| Stations d'épuration | 98 | 200 | 285 | 1,4 |
| Total | | 1430 | 1958 | |

Source: VIII Plan de développement économique et social.

Les barrages et les barrages collinaires vont permettre la mobilisation de 849 millions de mètres cubes, ce qui portera le volume total mobilisé par ce type d'ouvrage à 2130 millions de m³/an soit un accroissement de 66% en 10 ans de la capacité de stockage. Le reliquat des eaux de surface sera en partie, environ 16 %, mobilisé par les lacs collinaires et les ouvrages d'épandage des eaux de crue. On peut remarquer le coût marginal relativement élevé de la récupération des derniers m³ ruisselés, en liaison directe avec la taille de plus en plus petite des réservoirs.

D'ici l'an 2000, les lacs collinaires, à eux seuls, n'auront mobilisé, d'après ces prévisions, que 50 millions de mètres cubes d'eau soit 3,5 % du volume total mobilisé. Les objectifs annexes attribués à ce type d'aménagement notamment, ceux de la conservation du patrimoine sol, de la protection des grandes infrastructures hydrauliques aval et du développement des zones déshéritées, leur donnent cependant une place de choix dans la stratégie de mobilisation des eaux.

A cette même date en l'an 2000 le capital en eaux souterraines sera totalement mobilisé à partir des forages dans la nappe profonde. Au total, en l'an 2001, le volume d'eau mobilisé atteindra approximativement 4 milliards de mètres cubes (tableau n° 4), soit presque 90 % du potentiel.

Tableau n°4 : Les taux de mobilisation de la ressource en eau en l'an 2000

| | Potentiel millions m ³ | Mobilisé en 1990 | Taux en % | Mobilisé en 2000 | Taux en % |
|--------------------|-----------------------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| Eaux de surface | 2700 | 1283 | 48 | 2210 | 82 |
| Nappes profondes | 1139 | 851 | 75 | 1139 | 100 |
| Nappes phréatiques | 645 | 627 | 97 | 645 | 100 |
| Total | 4484 | 2761 | 62 | 3994 | 90 |

Source: VIII Plan de développement économique et social.

Un programme de mobilisation d'eaux non conventionnelles a été également lancé à partir des traitements d'épuration des eaux usées; une telle ressource peut être utilisée, sous conditions, dans les périmètres irrigués pour certaines cultures et pour certains usages industriels. Actuellement encore limité à 23 stations d'épuration qui rejettent un volume annuel de 82 millions de m³, le programme prévoit de multiplier par 10 le nombre des infrastructures et de faire passer le volume d'eau réutilisable à environ 200 millions de m³, en priorité de manière ponctuelle, là où la demande en eau ne peut être satisfaite qu'à des coûts exorbitants. Le traitement des eaux saumâtres disponibles a déjà été mis en œuvre : île Kerkennah et quelques hôtels à Djerba.

⁶ Coût rectifié selon les données de la stratégie CES.

3-1.1.2. La nécessité de rationaliser les usages de l'eau

Les possibilités d'extension de l'irrigation sont de plus en plus réduites en Tunisie en raison de l'insuffisance des ressources en eau. Ainsi, l'accent devra désormais être davantage mis sur le développement des techniques économisant l'eau ainsi que sur l'amélioration de la valorisation sur le plan technique, économique et social des ressources disponibles.

A en croire les rapports officiels du ministère du plan (VIII plan) la situation actuelle du secteur irrigué témoignerait d'un manque d'efficacité dans l'utilisation de l'eau sans pour autant que des preuves chiffrées soient fournies⁷. Plus grave peut-être est l'accroissement de salinité de certains milieux, altérant considérablement le potentiel de production agricole⁸ du pays, principale conséquence de la surexploitation de certaines nappes (Mamou, 1995 et autres auteurs). L'Etat, tout à fait conscient de ces problèmes, envisage dans la stratégie décennale des mesures pour la rationalisation et l'optimisation de la consommation de l'eau.

Globalement ces mesures peuvent être regroupées en trois volets essentiels dont seulement le dernier concerne la gestion des lacs collinaires.

- Un volet technique relatif à la modernisation des réseaux d'irrigation s'appuyant sur la promotion de techniques d'irrigation économisatrices de l'eau (le système par aspersion et d'apports réduit et localisés essentiellement). De plus d'un réseau de surveillance de la salure des eaux et des sols est en projet.

- Un volet économique basé sur un ajustement de la tarification de l'eau tenant compte progressivement du coût d'exploitation et d'entretien des infrastructures et à long terme du coût de revient réel total (investissement compris) de la ressource.

- Un volet social se rapportant surtout aux modes d'une gestion collective de la ressource. L'Etat encourage en particulier la création d'Association d'Intérêt Collectif (AIC).

3-1.2. La stratégie de CES : les prévisions et les principales orientations

Cette stratégie est complémentaire de celle de la mobilisation des eaux. Elle prévoit, par la réalisation de divers aménagements de petite et de moyenne hydraulique (notamment les lacs collinaires) prévues dans les différentes stratégies, réduire, de réguler et de stocker pour des usages différés la plus grande partie des eaux de ruissellement. Cette stratégie a pour objectif principal de protéger puis de restaurer des énormes surfaces menacées par l'érosion hydrique et éolienne. Le souci de faire, avec les agriculteurs, des ouvrages efficaces et beaucoup plus durable de conservation des eaux et des sols s'affiche beaucoup plus clairement qu'auparavant.

Le tableau n° 5 fait apparaître un ambitieux programme de réalisation de diverses infrastructures.

Tableau n° 5 : Prévisions de la stratégie décennale (1990-2000)

| Actions | Prévisions (1990 - 2000) |
|---|--------------------------|
| <u>Aménagement des terres en pente :</u> | 1000 000 ha |
| - Aménagement des bassins versants | 600 000 ha |
| - Aménagement des terres céréalières | 400 000 ha |
| <u>Mobilisation des eaux de ruissellement</u> | |
| - Retenues et lacs collinaires | 1000 unités |
| - Ouvrages de recharge des nappes | 2000 unités |
| - Ouvrages d'épandage des eaux de crues | 2000 unités |

Source : Stratégie de C.E.S., décembre 1993

⁷ A part les chiffres sur les rendements des cultures.

⁸ 1000 ha de terres agricoles seraient perdus chaque année (Rapport: Etat de l'environnement 1993).

En général, on a conservé les mêmes objectifs déjà communément assignés aux travaux de CES il y a plus de 20 ans. Il s'agit de :

- maintenir et améliorer la fertilité des sols,
- améliorer le taux de mobilisation des ressources en eau notamment celles difficilement mobilisables par des ouvrages classiques,
- protéger des infrastructures (barrages, routes, agglomérations).

Pour répondre à ces objectifs qui restent assez globaux, l'Etat, de plus en plus conscient de l'importance du rôle des exploitants agricoles dans la réussite des projets de CES, fait l'effort dans cette stratégie de rechercher les conditions de leur implication et association aux travaux et aménagements de lutte contre l'érosion.

3-1.2.1. Implication progressive des exploitants agricoles

Les travaux de CES ont toujours été perçus de manière distante par les paysans dits bénéficiaires. L'Etat aménageur et les exploitants intéressés ne sont que rarement parvenus à un compromis de partage des responsabilités sur le respect, la maintenance et la valorisation des aménagements.

Du côté de l'Etat, les travaux de CES présentent des intérêts se situant à la fois au niveau macro-économique (conservation du patrimoine) et micro-économique (amélioration des revenus de l'exploitant). Ainsi par principe et rarement par démonstration (rareté voire absence des travaux de recherche dans ce domaine), ces aménagements sont utiles et on doit les multiplier sur l'espace rural. Cependant les paysans directement et/ou indirectement touchés par ces projets, ne manifestent pas les mêmes intérêts que l'Etat aménageur. En général et faute d'utilité directe et surtout immédiate, les paysans, dans leur majorité, n'apprécient guère les interventions de l'Etat sur leurs exploitations.

Dans la stratégie, l'Etat qui jusque-là n'a cherché que l'acceptation de l'aménagement (faiblesse de la vulgarisation) par les intéressés, met en œuvre une approche nouvelle d'élaboration des projets de CES. Bien qu'encore assez théorique, elle est basée essentiellement sur le principe de la motivation et responsabilisation des bénéficiaires par l'intermédiaire d'une définition et mise en œuvre commune d'actions et de mesures qui contribueront directement ou indirectement à l'amélioration de la production agricole afin d'accroître de manière relativement immédiates les revenus de ces exploitants agricoles.

Malheureusement ces actions et mesures ne présentent guère d'innovations pour le paysan. Il en a déjà souvent fait l'expérience et à court terme il juge a priori que les aménagements de CES ne sont que rarement porteurs de bénéfices. Nous allons essayer d'analyser ces mesures et actions que nous regroupons en trois catégories.

Travaux et ouvrages en courbes de niveau qui sont susceptibles de réduire considérablement l'érosion diffuse et "en nappe" sur les versants. Ces actions, depuis la création des services de CES, ont été jugées globalement améliorantes de la productivité des terres. Dans les applications de ces techniques, les paysans sont en majorité contraints par plusieurs facteurs d'ordre économique, foncier et social (location de tracteurs, limitation de parcelles, pénibilité du travail, restrictions dans le choix des modalités de travail, nouvelles dépendances entre agriculture et élevage).

Les goulots d'étranglement d'ordre socio-économique et de nature foncière n'ont pas forcément été envisagés au moment de la prise de décision de l'administration. La réticence des paysans vis à vis des aménagements a toujours été considérée par les aménageurs des espaces ruraux comme des attitudes conservatrices de blocage de la part des paysans. Le problème n'a que rarement été pris dans son ensemble c'est à dire dans ces deux principales dimensions d'aménagement et de développement, véritables bases de l'intégration des travaux dans les systèmes d'exploitation traditionnels.

Les lacs collinaires et les ouvrages de recharge et d'épandage des eaux de crues

Ce type d'action, bien que coûteux pour la collectivité, est assez apprécié et demandé par les paysans. Leur implication effective et le partage équitable de cette nouvelle ressource nécessitent toutefois des efforts considérables de la part des deux partenaires (Etat et paysans).

L'Etat, dans la conception du projet, doit nécessairement procéder à des études préalables intégrant le facteur social et les contraintes des systèmes de production. Il faut que les aménagements de mobilisation des eaux et les techniques de conservation du patrimoine sol, soient intégrés dans une action de développement et ne doivent en aucun cas être décidés sur la seule base de formules et de principes préétablis. L'effort de vulgarisation

et de sensibilisation des bénéficiaires, encore très mineur, nécessite des implications beaucoup plus fortes de la part des agents de l'Etat.

Une fois convaincu de l'utilité, le paysan sera probablement plus respectueux des aménagements, davantage prêt à s'impliquer dans leur maintenance et à appliquer des principes de gestion rationnelle de ressources renouvelées et plus sûres. On peut même alors certainement envisager un surcroît d'investissement en travail, voire une participation financière, par le biais du crédit, pour diverses composantes du projet.

Plantations pastorales et arboricoles : Cette action, généralement liée et dans le prolongement d'autres interventions (banquettes, lacs collinaires, etc.) nécessite du moins au cours des premières années d'installation des investissements supplémentaires et un savoir-faire technique qui ne peut être que le fruit de l'expérience ou celui d'un apprentissage approfondi. Malheureusement la stratégie délègue aux seuls paysans la presque totalité de la responsabilité de ce type d'opération.

D'une façon générale, l'objectif d'implication progressive des paysans dans les aménagements et interventions de CES s'est souvent heurté à des problèmes propres à la manière de concevoir le projet. On a tendance à trop simplifier la réalité paysanne et à agir de manière dirigiste suivant des modèles préétablis et non généralisables à la diversité des situations du monde rural tunisien. La réussite de l'approche participative nécessite des efforts considérables et des remises en cause d'attitudes et de comportements aussi bien de la part de l'Etat que des paysans. La tâche de l'Etat est rendue plus difficile par la multiplicité d'intervenants dans le milieu paysan et le manque de coordination entre eux. Mais, il demeure possible d'améliorer les rapports entre paysans et Etat par l'accentuation des efforts de vulgarisation qui seraient soutenus par des résultats d'actions de recherche qui font encore souvent défaut.

3-1.2.2. Décentralisation et privatisation des travaux

La réalisation des projets de CES sur les exploitations agricoles privées et les fermes de l'Etat, a jusqu'à présent fait l'objet de l'intervention presque exclusive de l'administration qui mobilise ses moyens propres et met en œuvre des techniques appropriées par un système de régie. Actuellement, on encourage et on confie progressivement ces travaux aux entreprises privées par établissement d'un cahier des charges. La création et le développement de ces dernières sont ainsi remarquablement favorisés.

Quand il s'agit de grands travaux à caractère d'utilité collective tels que lacs collinaires et ouvrages de recharge et d'épandage, le service agricole concerné, après avoir effectué les études nécessaires (jusqu'à présent limitées aux seuls aspects techniques de l'aménagement) et préparé le cahier des charges du projet, lance un appel d'offres d'exécution ouvert à toutes les entreprises plus ou moins spécialisées et ne s'occupera dès lors que du contrôle des travaux et de la réception des ouvrages. Bien que l'expérience soit très récente, la demande de création d'entreprise de génie civil s'accroît et les travaux sont désormais réalisés avec des coûts plus bas et dans des délais beaucoup plus courts que ceux autrefois faits en régie directe.

Les travaux mécaniques de faible ampleur (banquettes, etc.) et les travaux mixtes ou manuels effectués par les chantiers de CES (plantations d'arbres et arbustes, entretien des ouvrages, etc.) sur les exploitations agricoles privées, devraient pouvoir être confiés aux agriculteurs propriétaires. Le rôle de l'Etat se limiterait alors à l'étude, l'assistance technique et l'aide financière sous forme de primes et subventions pour la réalisation. L'exploitant est très souvent le mieux placé pour décider du type et de la nature de l'aménagement et de son mode de mise en œuvre sur sa propriété. Théoriquement, il lui est proposé un choix quant à la nature de sa participation : location des engins ou travail dans les chantiers de CES.

3-1.2.3. Une nouvelle législation

Du point de vue législatif, un nouveau code des sols et plus général de CES vient d'être promulgué en juillet 1995. Ce code reprend et rénove des textes déjà très anciens remontant à 1956⁹. Il comporte des lois et textes relatifs à l'utilisation adéquate des terres suivant des conditions techniques préalablement établies par les responsables et les décideurs spécialisés en matière de CES. L'agriculteur ne peut guère que subir ces lois et devra convenablement intégrer ce cadre restrictif dans sa gestion d'un milieu déjà particulièrement contraignant afin d'échapper aux amendes et pénalités. Personne n'est en mesure de prévoir les conséquences de l'application de cette législation qui se veut trop générale et restrictive pour les initiatives de développement. De prime abord ce cadre réglementaire apparaît antinomique à la démarche participative tant prônée par ailleurs.

Les nouveautés de cette législation concernent surtout la création d'organes consultatifs de CES. Au niveau national, le conseil national de CES est chargé essentiellement d'élaborer les plans et programmes nationaux et de proposer de manière générale toutes mesures de CES jugées utiles.

Dans chaque gouvernorat est créé un Groupement Régional de CES ayant un rôle de consultation et d'application des orientations générales de la stratégie de CES. Il est également chargé de donner son avis sur la création des périmètres d'intervention et la constitution des Associations de Conservation des Eaux et du Sol (ACES).

Les procédures de création des ACES sont copiées sur celles des AIC. L'ACES est créée, après approbation du Gouverneur, soit à la demande des propriétaires ou exploitants soit à l'initiative de l'administration. Les fonctions assignées à ces associations, à savoir l'entreprise et l'entretien des aménagements, surtout quand il s'agit d'obligations, ne sont pas réalistes. L'agriculteur ou l'exploitant, le plus souvent démuné en ressources productives telles que capital et travail bien rémunéré, ne s'engagera pas dans de telles entreprises nécessitant de gros investissements et un savoir technique important.

Cette nouvelle législation s'intéresse également à :

- l'actualisation de la loi relative à la protection des terres agricoles par la mise au point de cartes de sauvegarde,
- la mobilisation des crédits bancaires et des encouragements de l'Etat pour l'utilisation des sols en fonction de leurs aptitudes et pour l'observation de certaines mesures anti-érosives,
- aux conditions de l'application rigoureuse des textes législatifs.

3-2. La place des lacs collinaires dans la stratégie de développement

Dans les stratégies nationale et décennale (1990-2000) de la Conservation des Eaux et du Sol (CES) et de mobilisation des ressources en eau, les projets d'aménagement de moyenne et petite hydraulique occupent une place de choix. En permettant l'interception de débits hydrologiques excédentaires sur l'amont des bassins versants, les lacs collinaires s'inscrivent pleinement dans cette logique d'intervention.

Cette politique a toujours affiché de manière prioritaire la protection, soit d'espaces fragiles et vulnérables à l'érosion, soit d'infrastructures hydrauliques aval à caractère stratégique. Ce faisant, il semble bien que les nouvelles possibilités mais aussi les difficultés de développement, à partir d'une disponibilité hydrique accrue, aient été sous-estimées et voire même délibérément ignorées.

⁹ Les grandes dates de la législation tunisienne en matière de CES:

- Le décret de 1956 prévoyant l'institution des associations syndicales, la création des périmètres généraux de Restauration des Sols (RS) et la déclaration d'utilité publique des ouvrages de RS.
- La loi n° 58-105 du 7 octobre 1958 sur le travail obligatoire des sols en courbe de niveau.
- La loi n° 64-77 du 12 mars 1964 portant encouragement de l'Etat à la conservation des eaux et des sols.
- Loi du 4 juillet 1966 révisant la loi du 20 août 1959 portant promulgation du code forestier et matière d'encouragement de l'Etat à la conservation des eaux.
- La loi n° 75-16 du 31 mars 1975 portant promulgation du code des eaux. Ce code régit certains aspects de la CES dans les domaines forestiers et hydrauliques de l'Etat.

3-2.1. Rappel des objectifs des lacs collinaires

Au moment de la définition du projet d'accélération de la construction des retenues et lacs collinaires deux grands groupes d'objectifs étaient assignés à ces ouvrages.

- Les uns de nature très conservatoire visaient à restaurer un potentiel de ressources naturelles renouvelables puis à diminuer les risques consécutifs à l'écoulement des eaux de surface excédentaires et transports solides vers l'aval, voire à protéger des espaces exploités de manière intensive et des infrastructures particulièrement menacées dans leur durée de vie.

- Les autres envisageaient, en complément, de multiples usages domestiques et agricoles sur des surfaces restreintes en rapport avec la ressource supplémentaire disponible et allaient même jusqu'à parler d'impact direct sur les revenus des exploitants ruraux et d'une amélioration des niveaux de vie.

3-2.2. Programme décennal et état d'avancement

Le programme décennal (1990-2000) de CES est ambitieux puisqu'il prévoit la réalisation de 1000 lacs collinaires répartis sur l'ensemble des gouvernorats de la zone semi-aride : de Bizerte, Nabeul et Béja au nord à Kasserine et Sidi Bouzid au centre-ouest et Sfax au sud (tableau n° 6).

Tableau n° 6: Situation des lacs collinaires (mai 1997)

| Gouvernorat | Programme | Réalisation | Capacité moyenne en 1000 m3 | Coût moyen en 1000 dinars | Coût/m3 en dinar |
|-------------|-----------|-------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| Siliana | 120 | 64 | 82 | 145 | 1.77 |
| Zaghouan | 120 | 44 | 99 | 136.5 | 1.37 |
| Bizerte | 80 | 45 | 93 | 116 | 1.24 |
| Kasserine | 100 | 44 | 125 | 116 | 0.93 |
| Le Kef | 120 | 44 | 89 | 144 | 1.62 |
| Kairouan | 80 | 40 | 123 | 145 | 1.18 |
| Nabeul | 80 | 42 | 92 | 120 | 1.30 |
| Béja | 90 | 22 | 95 | 180 | 1.90 |
| Jendouba | 80 | 22 | 84 | 166 | 1.97 |
| Sousse | 50 | 21 | 82 | 111 | 1.35 |
| Ariana | 40 | 16 | 77 | 130 | 1.69 |
| Ben Arous | 30 | 16 | 72 | 114 | 1.58 |
| Sidi Bouzid | - | 14 | 141 | 139 | 0.98 |
| Mahdia | - | 3 | 106 | 134 | 1.26 |
| Monastir | 10 | 6 | 57 | 101 | 1.77 |
| Sfax | - | 2 | 43 | 113 | 1.53 |
| Tunisie | 1000 | 445 | 91 | 131 | 1.53 |

Source : Ministère de l'agriculture . Direction de la CES. Les réalisations des lacs collinaires (en arabe), mai 1997.

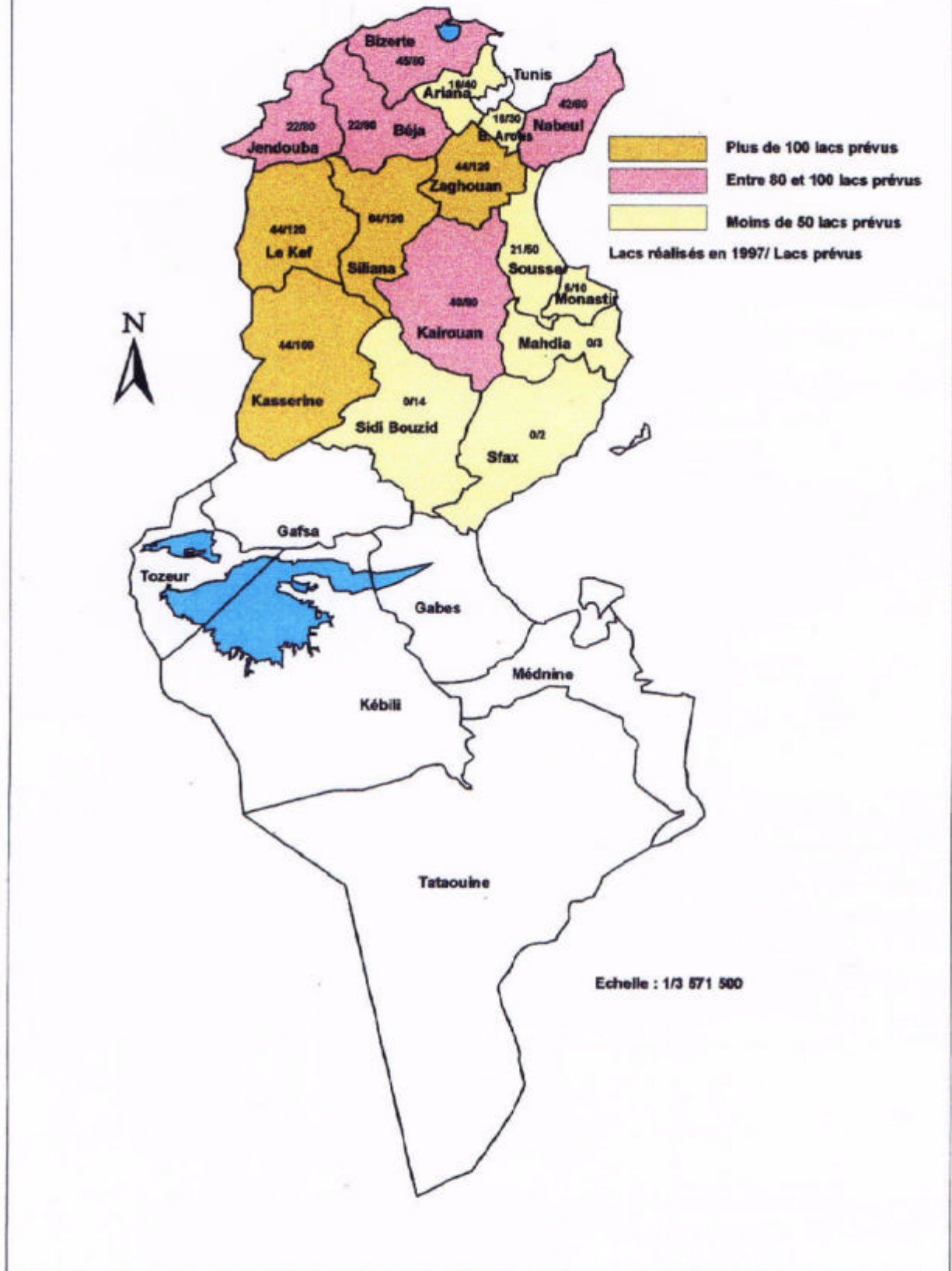
Après 7 ans de la réalisation du programme décennal, le nombre total des lacs collinaires construits atteint 45 % des prévisions avec un volume d'eau annuel mobilisé de 81 % de la quantité totale prévue suite à la réalisation des 1000 lacs (carte suivante). La capacité moyenne des retenues varie de 43 000 mètres cubes à Sfax à 141 000 mètres cubes à Sidi-Bouzid. La moyenne nationale est de l'ordre de 91 000 soit presque le double des prévisions du VIII plan du développement économique et social du pays.

Le coût unitaire réel moyen, bien que très variable d'une région à l'autre et d'un lac à l'autre, atteint 131 000 dinars soit 131 % des prévisions. Ces différences de coût et de capacité d'eau sont dues essentiellement à la taille de plus en plus grande des retenues construites.

A Sfax et à Monastir où les lacs sont de petite taille, les coûts sont restés dans les normes prévisionnelles.

La moyenne du coût de revient du mètre cube d'eau théorique mobilisable annuellement par les lacs collinaires (1.53) est plus élevé que celui des grands barrages (1.2) mais demeure finalement non prohibitif.

Avancement du programme de construction des lacs collinaires par gouvernorat en Tunisie



IV. LA GESTION COLLECTIVE DE LA NOUVELLE RESSOURCE OFFERTE PAR LES LACS COLLINAIRES

4-1. L'eau un sujet de regroupement des populations

En Tunisie aride et semi-aride, la rareté de l'eau, confrontée à une demande soutenue, a fait de cette ressource, depuis bien des siècles, un sujet de regroupement et de cohésion sociale des populations. Le phénomène associatif dans la gestion et l'exploitation de l'eau est très ancien. On en retrouve une trace écrite dans un document organisant la distribution de l'eau dans les oasis du Djérid¹⁰.

Hors les grandes concentrations d'oasis et jusqu'au début de l'installation des colons en Tunisie, l'appropriation privée de l'eau des sources et des oueds est très répandue du nord au sud du pays (Baduel, 1985).

Pas plus de 4 ans après sa prise du pouvoir en 1881, l'administration coloniale avait établi la domanialité publique des eaux. Elle a permis par la suite la création de syndicats d'arrosage. Le premier syndicat fut celui de Zarzis en 1896 (Baduel, 1985). Il est suivi par ceux qui se constituent autour des grands oueds du centre: Zéroud, Merguellil et Sbiba. Un peu plus tard (1912-1920), on assiste à la création des associations syndicales des propriétaires des oasis. Depuis d'autres formes juridiques de gestion communautaire de l'eau ont été instituées ; les associations spéciales d'intérêt hydraulique d'abord à Rouhia en 1923 puis dix ans plus tard à Ouchtata et enfin les Associations d'Intérêts Collectifs (AIC).

4-2. L'apparition d'une structure "moderne" de gestion collective : les AIC

4-2.1. Une forme d'intervention de l'Etat dans la gestion des ressources naturelles¹¹

Les AIC ont été instituées durant la période coloniale par le décret du 5 août 1933. Elles sont rattachées administrativement au Groupement d'Intérêt Hydraulique ou G.I.H., créé par le même décret (Mejri, 1985). Ces nouvelles structures proposent d'accueillir après transformation les associations spéciales et syndicats d'arrosage. Le regroupement a un caractère obligatoire pour les usagers qui utilisent les ouvrages d'hydraulique agricole financés partiellement ou totalement par des crédits d'Etat (Baduel, 1987).

La Tunisie indépendante va continuer à favoriser les initiatives d'association dans ce cadre institutionnel mais n'interviendra dans le domaine législatif de la gestion de l'eau qu'à partir de 1975 avec la promulgation du code des eaux. Ce code est apparu indispensable à la suite de longues recherches hydrogéologiques et hydrologiques conduisant à la nécessité d'économiser et de valoriser les ressources en eau. Plusieurs décisions de développement ont été prises tant au plan de l'allocation optimale des ressources que de celui de l'instauration de structures institutionnelles¹².

Le code des eaux¹³ n'innove pas considérablement en matière de structure des AIC par rapport aux textes antérieurs. Mais dans le détail, il définit les attributions et précise le fonctionnement administratif et financier de cette organisation sociale.

De 1975 à 1988, la gestion de l'eau, des aménagements hydro-agricoles et des périmètres irrigués, a été principalement confiée à des Offices régionaux de mise en valeur¹⁴ relevant de la tutelle du Ministère de l'Agriculture et dont la vocation était la mise en application des Plans Directeurs des Eaux.

A partir de 1988 et suite au relatif échec de la forte intervention de l'Etat en milieu rural la vieille idée des AIC est réactivée (Jusserand, 1994). L'appellation officielle réapparaît dans la loi n° 87-35 du 6 juillet 1987 pour être généralisée à toutes les formes d'associations d'usagers de l'eau. L'objectif primordial est de faire participer directement les agriculteurs et les usagers à la gestion et l'exploitation en commun de l'eau du domaine "public".

¹⁰ Il s'agit du modèle préconisé par Ibn Chabbat au XVII^e siècle et exposé au musée Dar Chraït de Tozeur.

¹¹ Le développement qui suit fait de larges emprunts à la communication : diversité et problématique de la gestion collective des lacs collinaires tunisiens, présentée au colloque : la ruralité dans les pays du sud à la fin du XX^e siècle. ORSTOM - Montpellier, 2 et 3 avril 1996. Il est assorti d'une mise à jour des interprétations et de la réflexion.

¹² Essentiellement le lancement des Plans Directeurs des Eaux dans les grandes régions du pays (nord, centre et sud).

¹³ Dans le code des eaux deux types d'innovations méritent d'être signalées (Baduel, 1987) :

- la création sous l'autorité du Ministère de l'Agriculture, d'un comité national de l'eau et d'une commission du domaine public,
- la conversion des droits de propriété de l'eau notamment dans les oasis en simples droits d'usage et l'incessibilité de l'eau indépendamment de la terre.

¹⁴ Le nombre total de ces Offices a atteint 11.

Pour rendre le fonctionnement de ces associations plus souple, plusieurs autres réformes ont été appliquées. On peut citer notamment une création possible, depuis 1990, par simple arrêté du Gouverneur de la région et la mise à disposition, depuis 1992, d'un budget autonome géré par un trésorier, désigné par les membres de l'AIC, sur proposition du conseil d'administration et après approbation du Gouverneur (article 33 du 21/12/1992).

Le conseil d'administration est composé de 3 à 9 membres élus et nommés pour 3 ans, renouvelables par tiers chaque année, par l'assemblée générale des adhérents. Il a plusieurs attributions dont :

- la gestion et le contrôle de toutes les affaires de l'association,
- l'élaboration des plans d'activité et de développement de l'association en fixant des prévisions financières,
- la nomination et la fixation des salaires des ouvriers et employés de l'association.

4-2.2. Une nouvelle orientation

La politique de développement général du pays visant la création massive de points d'eau potable et de moyens d'irrigation participe grandement à la multiplication du nombre des AIC.

Pour participer au développement des zones rurales et encourager la décentralisation administrative, l'Etat tunisien, engagé depuis 1986 dans la politique d'ajustement structurel, essaye progressivement d'impliquer les collectivités et les organisations locales dans la gestion des activités économiques et notamment dans celles relatives aux ressources naturelles rares. Cette politique doit accroître la participation des "destinataires" des actions de l'Etat pour définir une juste allocation des ressources. Entre l'Etat et les usagers des ressources, les tâches semblent être définies. Le rôle de l'Etat consiste à mobiliser les ressources et à fournir au départ une grande partie des investissements nécessaires à la réalisation des ouvrages et équipements hydrauliques. Les utilisateurs doivent prendre en charge la gestion quotidienne des ressources mobilisées et des infrastructures mises en place : la structure AIC fournit le cadre de la mise en œuvre de ces principes.

Cette orientation s'est confirmée par l'adoption depuis 1992 de la stratégie nationale de création et de suivi des AIC d'eau potable. Le programme prévoit durant le VIII Plan (1992-1996), l'alimentation en eau potable pour environ 500 000 ruraux supplémentaires et la création d'environ 900 AIC. Les maîtres d'œuvre sont la Direction Générale du Génie Rural (DG/GR) pour l'habitat dispersé et la Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux (SONEDE) pour les agglomérations. Le taux de la population rurale bénéficiant de l'adduction d'eau potable passera alors de 60 à 75 %.

Ainsi, entre 1986 et 1995, soit en moins de dix ans, le nombre des associations a été multiplié par 17 passant d'une centaine à 1710 en juin 1995. Les gouvernorats de Kairouan, Kasserine et Siliana¹⁵ sont les plus impliqués; on y trouve 30 % du nombre total des AIC.

Les AIC pour l'irrigation se constituent beaucoup plus lentement et ne dépassent pas encore le nombre de 500. Autour des lacs collinaires leur développement est encore faible. A Siliana, ce type d'association est relativement bien représenté puisqu'on en dénombre 14 actuellement, dont certaines sont en cours de constitution.

Outre, l'évolution remarquable du nombre et du cadre juridique des AIC, l'Etat ne cesse d'apporter son soutien institutionnel à ces structures. Il a, au niveau de la DG/GR, renforcé le service de promotion des AIC et, au niveau régional¹⁶, créé des Cellules d'AIC (CAIC) qui s'occupent de la promotion et du suivi des associations d'intérêt collectif : organisation de journées de formation et de vulgarisation pour les présidents, trésoriers et éventuellement du personnel chargé du fonctionnement et de la maintenance du matériel d'irrigation.

4-3. Les AIC des lacs collinaires

4-3.1. Principe de constitution

Les services agricoles régionaux, forts de textes institutionnels réglementaires, incitent à la constitution d'AIC avec une attitude souvent proche de la "pétition de principe" sans toujours bien en mesurer toutes les difficultés et nécessités.

Très concrètement autour des lacs collinaires la création d'une AIC émane généralement d'une initiative privée, expression locale d'une volonté plus ou moins consensuelle de valorisation du nouveau supplément de

¹⁵ Le nombre total de gouvernorat en Tunisie est de 23.

¹⁶ On a créé dans chaque arrondissement GR une CAIC.

ressources. Le plus souvent démunis de moyens, les paysans manifestent leur intérêt et adressent une demande d'aide en équipement aux services régionaux du développement agricole. Ces derniers, après visite de terrain et sommaire étude technico-économique sur des bases théoriques et normatives, lient une possibilité d'assistance financière à la nécessité d'un regroupement en AIC. Très souvent, pour éviter un blocage de la situation, la procédure est simplifiée et un premier groupe motopompe est accordé provisoirement en attendant la constitution d'une association d'irrigants.

Les paysans devraient compter sur l'appui des ingénieurs et techniciens des CAIC. En fait ces derniers sont en priorité occupés à améliorer et accroître la desserte en eau potable du milieu rural et peu disponibles pour s'intéresser aux micro-projets d'irrigation. Les circonstances administratives sont également aggravantes en ce sens que les lacs collinaires relèvent de la responsabilité du service de la Conservation des Eaux et des Sols dont les activités sont encore peu coordonnées avec celles du Génie Rural. A ce jour on n'a pas encore vu apparaître une étude préalable, exhaustive et crédible, de développement local autour d'un lac collinaire fondée sur un usage moderne de la ressource hydrique.

4-3.2. Fonctionnement type d'une AIC

Il n'y a pas de textes réglementaires appropriés déterminant avec précision les fonctions des AIC des lacs collinaires. Les objectifs généraux assignés à ces institutions peuvent globalement se résumer comme suit :

- exploitation et gestion de l'ouvrage,
- entretien des ouvrages et sauvegarde des plantations de protection (acacia, sulla, pin d'Alep, etc.) à l'amont et à l'aval de la digue avec une attention particulière au cours des premières années d'installation,
- la prise en charge, l'assurance du bon fonctionnement et l'entretien des équipements hydrauliques (groupe motopompe, réservoir, canalisation) fournis par l'Etat.

La plupart de ces objectifs sont trop généraux pour être mobilisateurs. De plus ils portent sur des objets ou des domaines dont les règles d'appropriation n'ont pas été clairement fixées. Enfin certains d'entre eux sont très éloignés des véritables préoccupations locales et ne convergent guère vers les intérêts vitaux et essentiels à défendre.

Chaque AIC dispose en principe d'un budget propre qu'elle arrête annuellement et soumet à l'approbation du Gouverneur. Il comprend :

- en recettes : les cotisations des usagers adhérents, le produit de la vente de l'eau et éventuellement les excédents des budgets antérieurs.
- en dépenses : les frais de fonctionnement comprenant des coûts unitaires d'exploitation et le financement de l'entretien du matériel.

Les AIC sont tenues d'agir dans les limites de leurs ressources financières. Les excédents des recettes par rapport aux dépenses, réalisés à la fin de chaque année, doivent être transférés à la même rubrique pour l'exercice financier suivant.

A priori il y a un déficit de prévisions sur le type de développement envisagé et ses conséquences en matière de gestion comptable. Veut-on assurer aux AIC une autonomie de fonctionnement à moyen terme même si des subventions sont toujours possibles, pour les achats de matériel notamment? Ce développement sera-t-il équitable et les contributions de chacun en rapport avec son statut économique et social initial ? Autant de questions dont les réponses impliqueront ou non la mise en place d'une caisse d'amortissement, une définition de l'assiette des cotisations et en définitive une cohérence économique et une cohésion sociale.

4-3.3. Dynamique de constitution : trois conditions nécessaires

Tableau n° 7 : situation des lacs (avril 1997) et des AIC dans les gouvernorats de Siliana, Kairouan et Kasserine

| | Siliana | Kairouan | Kasserine |
|--|---------|----------|-----------|
| Nombre total de lacs (1990-1997) | 64 | 40 | 44 |
| Nombre d'AIC | 22 | 22 | 8 |
| En % du nombre de lacs $\geq 50\ 000\ m^3$ | 34 % | 55 % | 18 % |

Le nombre d'AIC autour des lacs collinaires demeure encore très faible. C'est dans le gouvernorat de Siliana que la dynamique de création est la plus rapide (tableau n° 7): une relativement bonne disponibilité en eau et de substantielles aides étatiques expliquent ce phénomène. A Kairouan, il s'agit de comités de gestion qui évolueront à court et à moyen terme en AIC.

L'abreuvement du cheptel et les usages domestiques de l'eau sont collectivement tolérés et ne posent guère de problème surtout quand règne une bonne entente locale, qu'il n'apparaît aucune dominance sociale et que, dans la mesure où la ressource est encore le plus souvent notoirement sous-exploitée, concurrence et gaspillage sont deux enjeux mineurs.

Il en va tout autrement avec la décision de promouvoir une exploitation par irrigation qui a un caractère collectif presque obligatoire. L'AIC offre alors le cadre juridique et réglementaire pour la mise en œuvre d'une telle initiative. D'une façon générale trois principaux facteurs sont déterminants pour la mise en place et les chances de réussite de cette structure.

- Il doit exister une garantie minimale de disponibilité hydrique assortie d'une stratégie saisonnière d'usage indicative. Déjà la DG/GR a fixé un seuil minimum d'exploitation établi à une capacité théorique de 50000 mètres cubes. Ce critère est insuffisant, il faut le remplacer par une estimation prévisible des apports annuels ce qui commence à être envisageable avec les résultats des recherches en hydrologie. Il doit être également complété par une connaissance de la demande potentielle au vu des terres irrigables et des pratiques régionales d'arrosage. Ainsi pour chaque retenue collinaire on devrait disposer de ce minimum technique de base.

- La mise en place d'un équipement d'irrigation en matériel de puisage et de transfert de l'eau à la parcelle doit être assuré. Très souvent il y a une forte volonté politique, à l'initiative du Président de la République, d'attribuer ces moyens ce qui est une forme d'expression de la solidarité nationale au profit des zones déshéritées. Assimiler cette aide et l'intégrer dans le cadre du fonctionnement des AIC est déjà beaucoup plus difficile dans la mesure où bien des responsabilités individuelles et collectives sont encore très mal assurées: maintenance et gestion d'un bien public et conditions de son renouvellement notamment.

- Une AIC ne va pas se développer spontanément de manière harmonieuse. Au bouleversement technique et prise de risque déjà considérables à introduire dans les systèmes de production s'ajoutent toutes les contraintes de la gestion d'une entreprise dont le but est également social. On ne peut pas imaginer qu'un tel développement se fasse sans l'appui des agents de l'Etat mobilisés pour l'encadrement des principaux intéressés. Restent à faire des choix d'une politique de développement local qui auront bien des conséquences sur la gestion technique et économique à la fois de l'environnement et des unités de production; ce sont ces choix et ces conséquences qui doivent être d'abord perçus et assimilés par les vulgarisateurs.

4-4. Diversité des formes de gestion de l'eau des lacs collinaires

Autour des lacs collinaires, quand l'eau est disponible et mise en valeur, les usages prennent au moins deux formes pas forcément exclusives l'une de l'autre : une gestion privée typiquement individualiste qui n'a pas a priori le souci du bien commun et une exploitation collective dans le cadre d'une AIC.

On voit bien ici poindre toute une série de difficultés relatives à l'expression d'un droit foncier de propriété. Une analyse a été récemment proposée (Moorehead, Lane, 1995) pour le cas des ressources pastorales mais riche d'enseignements pour une application aux lacs collinaires. En particulier la théorie de l'accès à une ressource qui est dit "ouvert" ou "surveillé" et renvoyant à des approches classiques comme la "Tragédie des communs" ou encore à l'école des "Droits de propriété" peut être source d'une réflexion fructueuse.

4-4.1. Une gestion privée autonome

La gestion privée est définie par opposition à une gestion collective qui s'exerce dans le cadre d'une AIC. En effet, en l'absence d'organisation reconnue par l'administration, l'exploitation de la ressource ne peut être que privée. Tous les usagers, agriculteurs, éleveurs et ménages riverains ont accès à l'eau suivant des règles indéfinies obéissant dans la plupart des cas à une hiérarchie économique et sociale et aux rapports de force qui en résultent.

Les conditions de sévère sécheresse qui ont prévalu dans la zone semi-aride au cours des deux années 1994, 1995 et au moins partiellement en 1993, ont largement déterminé le développement d'activités agricoles autour des lacs. Certains lacs ont été seulement mis en eau au cours des mois relativement humides (de novembre à mai) ce qui leur a quand même permis de jouer un rôle important pour l'abreuvement du cheptel et pour certains usages domestiques.

En été où la demande est très forte suite au tarissement des sources et des cours d'eau permanents, la gestion du lac a très rapidement pose au moins deux types de grand problème, quand l'eau y est encore disponible:

- Qui bénéficie d'un droit de prélèvement et pour quel usage ?
- Quel type de troupeau est accepté et quelle voie d'accès peut-il emprunter ?

En l'absence de règles et d'un agrément collectif d'usage et d'accès à la ressource, ces problèmes ne peuvent devenir que plus aigus à moyen terme étant donné que les lacs collinaires sont des milieux dynamiques en perpétuelle évolution.

Le développement de petits périmètres irrigués autour des lacs collinaires est fonction de nombreux facteurs naturels (disponibilité des ressources en eau et en sol) et anthropiques (dynamisme et motivation des exploitants, moyens financiers et expérience de l'irrigation). La diversité et la spécificité de ces facteurs sont telles que l'on a fréquemment tendance à considérer l'unité lac collinaire comme n'étant qu'un cas particulier. Il est en tout cas difficile de les classer en groupe à problématique commune. On peut toutefois tenter une discrimination en distinguant deux niveaux d'intensité de la demande hydrique.

Quand le nombre d'irrigants est très limité (1 à 3), l'exploitation ne suscite généralement pas de difficulté; elle se fait de deux principales façons, éventuellement simultanées :

- Par pompage direct dans la retenue collinaire : l'offre de l'eau est suffisante pour assurer l'irrigation de petites superficies individuelles. Les irrigants utilisent soit des équipements fournis par l'administration à titre d'encouragement soit des groupes motopompes achetés sur des fonds propres. Dans les deux cas, la gestion sociale de la ressource ne pose pas de problèmes particuliers.

- A partir de puits aval directement alimentés en recharge à partir d'infiltrations: ce type d'exploitation de la ressource n'est pas très répandu mais offre une assez grande autonomie. Il est fonction non seulement de l'existence et de l'étendue de nappes phréatiques mais encore des conditions économiques assez particulières à caractère de rente de situation (existence du puits avant la création du lac). Là encore, la bonne entente semble régner entre les paysans. L'apprentissage des techniques d'irrigation et d'intensification des systèmes de production semble être facilité par un enrichissement réciproque et la communication quotidienne entre les exploitants agricoles. Quand ils existent, les malentendus sont résolus à l'amiable sans aucune intervention extérieure.

Toutefois à moyen et long terme et dans les deux situations les risques de surexploitation et d'épuisement au moins temporaire de la ressource n'est pas négligeable, la mesure du disponible exploitable semble encore une fois s'imposer.

Quand le nombre d'usagers est plus élevé, la concurrence pour l'utilisation de la ressource devient immédiatement un sérieux problème nécessitant parfois l'intervention d'une autorité extérieure. Les usages de l'eau sont indépendants ne tenant compte ni de la disponibilité limitée de la ressource ni d'une obligation morale de partage.

L'usage concurrentiel de la ressource (6 à 8 groupes motopompe par lac) est à l'origine de tensions et disputes entre les usagers. En l'absence de règles du jeu préalablement définies par les usagers potentiels et l'Etat et déterminant la responsabilité de chaque bénéficiaire, la concentration d'équipements hydroagricoles peut très vite aboutir à l'épuisement de la ressource et par la suite à d'importants déficits hydriques culturaux. Ainsi, aucun programme prévisionnel culturel individuel ou global tenant compte du bilan d'eau même approximatif n'a été jusque là mis en œuvre par les irrigants. La problématique des ayants droit à la ressource et la détermination en commun des superficies et des cultures à irriguer chaque année est une brûlante question d'actualité. Les principales contraintes sont de deux ordres :

- technique : il est difficile pour les agriculteurs d'estimer aussi bien les disponibilités en eau mensuelles, saisonnières et même annuelles que les quantités prélevées en fonction des besoins des cultures.

- social : l'appartenance de la majorité des bénéficiaires au même groupe ethnique où le "pouvoir" semble être détenu par les exploitants à la fois les plus âgés et les plus nantis, créé des problèmes de jalousie et de malentendu entre les différents usagers. Ces attitudes sont de nature à encourager le gaspillage et la mauvaise allocation des ressources.

Avec ces difficultés sociales, le groupement et l'organisation des usagers plusieurs fois encouragés et soutenus par l'administration agricole locale sont encore loin d'être opérationnels. L'allocation optimale de la ressource garantissant la pérennité des effets positifs du lac ne peut se réaliser que dans le cadre d'un climat socio-économique favorable. La participation de l'Etat dans la création de ce climat est souhaitable mais elle reste à définir. L'intervention de l'administration doit concerner essentiellement l'arbitrage de la distribution de la

ressource et la mise en place d'un système de fonctionnement durable qui garantit non seulement le développement à partir des usages de l'eau mais encore l'entretien au moins temporaire de l'ensemble de l'aménagement lac collinaire.

4-4.2. Une gestion collective très dépendante d'une organisation sociale

Le souci de promouvoir et de mettre en œuvre des organisations rurales à buts multiples, et en particulier celui de la gestion d'une ressource naturelle, est très présent sur le continent africain. Ainsi le rappelle Prod'home (1995) quand il parle, pour l'Afrique noire, d'un foisonnement d'associations et des voies de professionnalisation de l'agriculture.

Les premières AIC, avec objectif d'exploitation des lacs collinaires à des fins d'irrigation, se sont constituées en 1992. Celles qui sont fonctionnelles sont encore en phase d'essai et d'apprentissage. Très rares sont les situations de bonne réussite. Les prises de contact, depuis deux ans, avec les membres des conseils d'administration et adhérents de ces associations puis la réflexion offrent une possibilité de poser l'essentiel de la problématique et de souligner les plus graves difficultés inhérentes à une bonne gestion des ressources.

4-4.2.1. Problèmes sociaux difficiles à surmonter

L'âge avancé et le fréquent état d'analphabétisme, caractéristiques fondamentales des responsables des unités de production des zones collinaires du semi-aride tunisien, représentent des handicaps pour l'exercice des mandats électifs des membres du conseil d'administration et notamment le trésorier chargé de tenir et mettre à jour les documents comptables. Des solutions transitoires doivent être imaginées en se tournant par exemple vers les éléments plus jeunes de la population et en leur attribuant un rôle de mandataire au risque sinon de condamner toute bonne gestion administrative et financière.

La majorité, voire la totalité des membres de l'association, ignore pratiquement tout de la réglementation de leur propre institution et ne peut donc imaginer les voies de son adaptation et de sa mise en œuvre. Ainsi même les problèmes les plus mineurs sont laissés en suspens.

Le manque de confiance entre la population d'usagers et les responsables de l'association, pourtant souvent proches voisins d'un même douar, sont à l'origine de disputes et querelles qui aboutissent, de manière dramatique, à l'abandon des équipements hydro-agricoles et à l'arrêt des activités d'irrigation. Cette redoutable défiance provient probablement de l'insuffisance d'un débat contradictoire initial expliquant et fixant les buts à atteindre et les moyens à mettre en œuvre.

4-4.2.2. Pauvreté et manque de moyens financiers

L'agriculture extensive des zones collinaires du semi-aride tunisien, fortement affectée par les aléas climatiques, génère des faibles revenus ayant peine à garantir un excédent financier nécessaire à couvrir les frais de fonctionnement de l'AIC (frais de carburant et de maintenance courante) sans même parler de la nécessité de créer une réserve financière pour le renouvellement du matériel.

Et pourtant il n'y a pas lieu de céder au découragement et à la fatalité. Il faut faire la preuve que ce qu'un paysan isolé ne peut pas atteindre seul est la portée du groupe. Les rares calculs économiques prévisionnels dont on dispose ne semblent pas s'appuyer sur des données plausibles et aboutissent à des impasses financières. Il faut s'engager vers l'établissement de modèles économiques beaucoup plus proche d'une réalité économique et sociale. Ces outils ne deviennent crédibles et opérationnels sur le long terme que s'ils reposent sur des choix essentiels de gestion tels que pratique ou non de l'amortissement, assiette des cotisations, ouverture de parts sociales, réserves et garanties financières permettant d'accéder au crédit, répartition des résultats. Alors tout peut devenir transparent et mettre clairement en évidence les efforts financiers à consentir que ce soit ceux, socialement et économiquement acceptables par les paysans ou ceux, sans doute inévitables de l'Etat au moyen d'un régime de subventions.

On ne peut pas laisser perdurer la situation actuelle en voie d'autodestruction dans laquelle aucune règle financière n'est plus respectée et qui conduit au désintéressement et désengagement des responsables des associations.

4-4.2.3. Demande urgente d'une vulgarisation

Très éloignées des centres de communication, les populations des lacs collinaires sont très rarement visitées par les techniciens de l'agriculture, formateurs et vulgarisateurs d'un savoir-faire technique et à l'écoute des problèmes socio-économiques locaux. Il en résulte un mauvais entretien des équipements hydro-agricoles avec des pannes de plus en plus fréquentes, une sous-utilisation de la ressource, une insuffisante intensification culturale et peu de sens collectif pour une gestion globale de l'aménagement.

Quand, elle est constituée, l'AIC doit résoudre tous ces problèmes pour arriver enfin à améliorer les revenus des ses adhérents et leur garantir un développement durable. Cela ne peut être atteint qu'au prix d'une intensification des campagnes étatiques de formation et de vulgarisation.

La gestion des lacs dans le cadre des AIC est encore à la recherche de la forme la plus adéquate permettant à la fois de garantir l'entretien des équipements et du réseau d'irrigation et de s'assurer de leur éventuel renouvellement. L'engagement des populations locales dans une gestion collective des ressources naturelles semblent, dans de rares cas, prendre la voie de la réussite. L'Etat se doit alors d'en tirer parti et de tenter d'en généraliser l'expérience. A terme il ne lui reviendrait plus que son rôle de garant de la disponibilité de la ressource.

Conclusion

Contrairement aux AIC d'eau potable et d'irrigation notamment dans les oasis, l'expérience de la gestion collective des eaux des lacs collinaires est très récente et pose des problèmes bien spécifiques. Les acquis préalables en matière de techniques d'irrigation et de systèmes de production intensifs sur ces petites unités sont encore très rudimentaires, voire inexistant. La rareté de l'eau, le manque de moyens et l'éloignement des centres de communication sont autant de facteurs influençant l'état de développement agricole dans les zones collinaires du semi-aride tunisien (système extensif, revenu faible, difficile accès au marché).

De ce fait, gérer de façon optimale une ressource naturelle dont la mobilisation est assez coûteuse pour la collectivité et l'affecter au service du développement local nécessite non seulement un dynamisme et solidarité populaires mais encore un minimum de connaissances techniques. L'appel à la vulgarisation de techniques modernes et à l'encadrement des futurs irrigants est ici très pressant.

Autour des lacs collinaires, les agriculteurs et les ruraux restent faiblement organisés. Alors que les formes traditionnelles de solidarité et d'entraide paysanne ont tendance à déperir et que se développent de plus en plus des positions individualistes, ces populations ne disposent pas encore des structures qui puissent les représenter, organiser leur contribution à l'effort d'aménagement et de développement de leur environnement et leur fournir les services et satisfaire les besoins les plus urgents et nécessaires. L'Etat doit certes continuer son effort de sensibilisation à l'organisation des populations rurales en associations d'intérêt collectif mais une dimension qualitative du fonctionnement de ces groupements doit y prendre de plus en plus place.

Les AIC récemment créées pour assurer à la place des services publics la gestion des retenues collinaires, sont encore très dépendantes d'une assistance matérielle et technique de l'Etat. Des modes autonomes de fonctionnement et de gestion locaux des ressources en eau doivent apparaître le plus rapidement possible.

Références bibliographiques

- BADUEL P. R., 1985.- Action sur les facteurs de production et dépendance paysanne : L'exemple du développement hydro-agricole tunisien. In. G. CONAC et al.- Les politiques de l'eau en Afrique, pp. 704-720.
- BADUEL P. R., 1987.- Politique tunisienne de développement hydro-agricole (1881-1983). In. Travaux de la Maison de l'Orient.- L'homme et l'eau en Méditerranée et au Proche Orient. pp. 147-174.
- JUSSERAND Y., 1994.- Projet de recherche pour le développement de l'agriculture d'oasis : Gestion de l'eau dans l'oasis de Nefta Beni Ali. CNEARC, 143 p. + annexes.
- KASSAH A., 1996.- Les oasis tunisiennes : aménagement hydro-agricole et développement en zone aride. Tunis. Editions CERES, série géographique n° 13, 346 p.
- MEJRI S., 1985.- Les associations d'intérêts collectifs dans les oasis du gouvernorat de Gabès. In Revue Tunisienne de Géographie n° 14, pp. : 163-183.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE. Direction du Génie Rural, 1994.- Gestion administrative et juridique des AIC. 8 p.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE. Direction de la CES, 1997.- Situation globale de l'exploitation des lacs collinaires.
- SELMÍ (S.), TALINEAU (J.-C.), 1997.- Diversité et problématique de la gestion collective des lacs collinaires tunisiens. In. La ruralité dans les pays du Sud à la fin du XX siècle. pp. 455-470. Colloques et séminaires. ORSTOM éditions.
- SELMÍ S., 1996.- Interventions de l'Etat en milieu rural et réactions des collectivités locales face à la gestion d'une ressource rare . Les lacs collinaires dans le semi-aride tunisien. Thèse de Doctorat. ENSA - Montpellier, 416 pages.

V. CONCEPTION DES LACS COLLINAIRES (D'après Guide de la CES)

Le lac collinaire est un petit barrage en terre dont la hauteur de la digue est généralement inférieure à 10 m et la capacité moyenne de la retenue est de l'ordre de 100 000 m³.

Les études préliminaires (topographie, géologie, géotechnie et hydrologie) des lacs collinaires sont nécessaires pour le choix du site d'implantation de la digue et de l'estimation de son volume.

Ce Chapitre sera consacré à la conception et au dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes.

5-1. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE

On distingue deux types de digue (digue homogène ou à noyau) en fonction de la nature des matériaux disponibles en quantité suffisante à proximité du site.

5-1.1. Digue homogène

Il s'agit du cas le plus fréquenté en Tunisie La digue homogène est constituée de matériaux suffisamment imperméables et de granulométrie assez étendue du type sablo-limoneux assurant la stabilité de l'ouvrage (Fig.1). L'ouvrage doit être muni d'un dispositif de drainage dans sa partie avale pour rabattre la ligne de saturation et éviter les risques de renard.

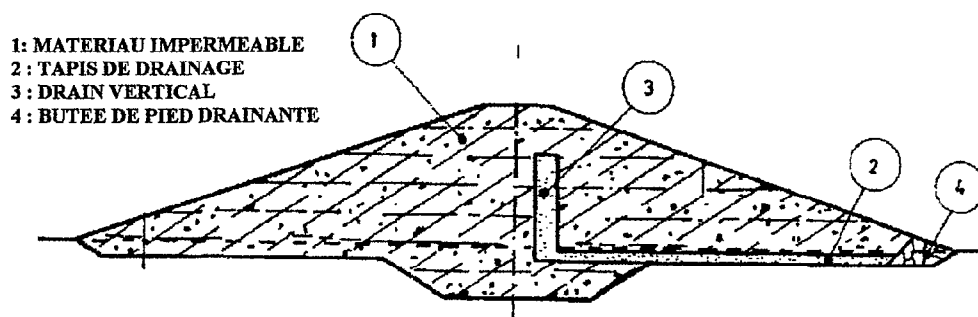


Fig.1 : Barrage en terre homogène

5-1.2. Digue zonée ou à noyau

Dans le cas où les matériaux disponibles ne permettent pas la réalisation d'une digue

homogène, on peut concevoir une digue zonée qui se compose (Fig. 2) :

- d'une partie centrale étanche (noyau) réalisée avec des matériaux imperméables du type limono-argileux et de forme trapézoïdale ayant une largeur en crête minimale de 3 m,
- de recharges (massifs) constitués de matériaux plus perméables et stables permettant d'abaisser la ligne de saturation,
- de zones filtrantes de transition (entre le noyau et les massifs) dont l'épaisseur peut varier entre 1 et 2 mètres.

1 : NOYAU
2 : MASSIF
3 : ZONE DE TRANSITION

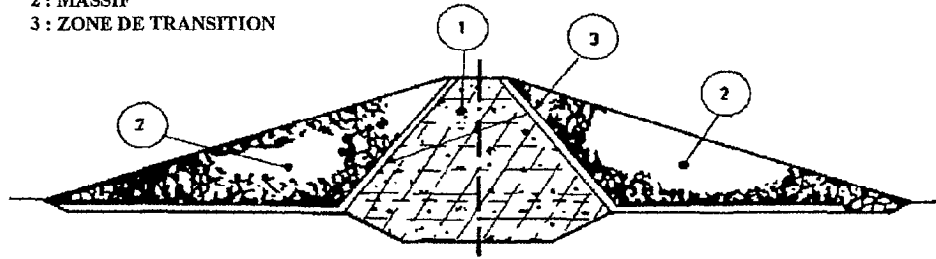


Fig. 2: barrage en terre zoné

5-1.2. Dimensionnement de la digue

5-1.2.1. Hauteur de la digue

La hauteur (H) de la digue est donnée par la relation :

$$H = RN + h + R$$

RN: hauteur de retenue normale,

h : charge maximale au dessus du déversoir, correspondant à la côte des plus hautes eaux (PHE),

R : revanche

a) Hauteur de retenue normale (RN)

Elle est définie comme étant la hauteur correspondant au Volume (V) de la retenue qui est donné par la relation :

$$V = Vu + Vs$$

Vu : volume utile de la retenue,

Vs : volume des sédiments correspondant à une durée de vie donnée du lac collinaire.

Le volume utile (Vu) est déterminé à partir de l'apport moyen annuel (A), en utilisant les valeurs du rapport (Vu/A) données par le Tableau 11 en annexe.

Le volume (Vs) des sédiments est déterminé au niveau de l'étude de l'envasement de la retenue.

La hauteur de retenue normale (RN) est déterminée à partir de la courbe hauteur-volume de la retenue qui est obtenue à partir de la relation hauteur-volume. Cette relation est dressée à partir du plan côté, de la retenue et à l'aide du Tableau 1 :

Tableau 1 : Relation hauteur-volume de la retenue

| Hi (m) | Si (m ²) | Dénivelée: ΔH (m) | Volumes partiels: ΔV (m ³) | Volumes cumulées Vi (m ³) |
|--------|----------------------|-------------------|--|---------------------------------------|
| H0 | S0 | ΔH = 0 | ΔV = 0 | V0 = 0 |
| H1 | S1 | ΔH = H1 - H0 | ΔV = (S1 + S0) * ΔH/2 | V1 = V0 + ΔV |
| H2 | S2 | ΔH = H2 - H1 | ΔV = (S2 + S1) * ΔH/2 | V2 = V1 + ΔV |
| " | " | " | " | " |
| " | " | " | " | " |
| Hn | Sn | ΔH = Hn - Hn-1 | ΔV = (Sn + Sn-1) * ΔH/2 | Vn = Vn-1 + ΔV |

Pour chaque hauteur (Hi) de la digue correspond une côte (Ci) dont $H_i = C_i - C_0$ avec (C0) la côte qui correspond à H0 = 0.

Pour chaque (H_i), on détermine par planimétrie sur le plan côté de la retenue la superficie (S_i) correspondante.

Généralement on prend $\Delta H = 1 \text{ m}$.

b) Charge maximale au dessus du déversoir (h)

Elle est déterminée par l'étude de l'évacuateur de crue. Elle est généralement comprise entre 0,6 et 1,5 m pour les petites retenues collinaires.

c) Revanche (R)

C'est la tranche comprise entre la cote des plus hautes eaux et celle de la crête de la digue. Elle est destinée à protéger la digue contre la submersion par les vagues.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$R = 1 + 0,3\sqrt{L}$$

L : longueur de la retenue (km)

5-1.2.2. La largeur en crête (l)

Pour les petites retenues collinaires, on adopte une largeur au crête de 3 m.

5-1.2.3. Pentés des talus

Elles dépendent des caractéristiques des matériaux constituant la digue et sa hauteur (H).

Pour les petites retenues collinaires on adopte les valeurs données par le Tableau 2:

Tableau 2: Valeurs des pentés des talus des digues

| H (m) | Type de la digue | Pente du talus amont | Pente du talus aval |
|--------|-------------------------------|-------------------------|------------------------|
| < 5 | homogène | 1 / 2,5 | 1 / 2 |
| | - zonée | 1 / 2 | 1 / 2 |
| 5 à 10 | - homogène | 1 / 2 | 1 / 2 |
| | * à granulométrie étendue | 1 / 2,5 | 1 / 2 |
| | * à fort pourcentage d'argile | 1 / 2 | 1 / 2,5 |

5-1.2.4. Volume de la digue (Vd)

Les principales dimensions de la digue étant déterminées.

Le volume (Vd) de la digue est déterminé à partir du plan en courbes de niveau de la digue, de la même manière que le volume de la retenue. Les données seront également consignées dans un tableau du même type que le Tableau 1.

Au volume de la digue ainsi déterminé, il faut ajouter le volume de la tranchée d'ancrage, tout en tenant compte du tassement qui peut être évalué à 15 %.

5-1.3. Tranchée d'ancrage

Elle a pour but :

- d'assurer une bonne liaison entre la fondation et le corps de la digue.
- d'éviter les risques de renard en augmentant le trajet des infiltrations dans le cas de fondation peu perméable
- d'assurer l'étanchéité lorsqu'elle descend jusqu'à une couche imperméable dans le cas de fondation perméable,

Elle est liée au dispositif d'étanchéité et réalisée sur l'axe de la digue ou légèrement en amont de celui-ci (Fig.3). La profondeur de la tranchée d'ancrage doit en principe atteindre la couche imperméable, généralement on adopte une profondeur de 2 à 3 m. La largeur minimale de la base de la tranchée varie de 3 à 5 m suivant l'importance de l'ouvrage.

Le volume (V_r) de la tranchée d'ancrage est donné par la relation :

$$V_r = L \cdot D [1 + (D/p)]$$

L : longueur de la tranchée,

l : largeur de la base de la tranchée,

D : profondeur de la tranchée,

p : pente des berges de la tranchée.

- 1 : MASSIFS EN MATERIAUX PERMEABLES
- 2 : NOYAU D'ETANCHEITE
- 3 : COUCHE PERMEABLE
- 4 : NIVEAU IMPERMEABLE

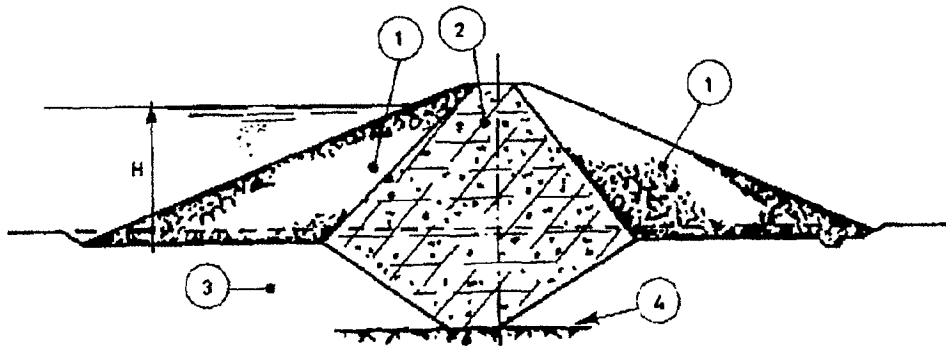


Fig.3 : Tranche d'ancrage

5-1.4. Le tapis imperméable amont

Il doit être lié à la partie imperméable du corps du barrage ou à son dispositif d'étanchéité, (Fig. 4). L'épaisseur minimale du tapis est de 1 m, alors que sa longueur vers l'amont est de l'ordre 6 à 8 fois la hauteur d'eau maximale.

- 1 : TAPIS D'IMPERMEABILISATION
- 2 : FILTRE HORIZONTAL
- 3 : DRAIN

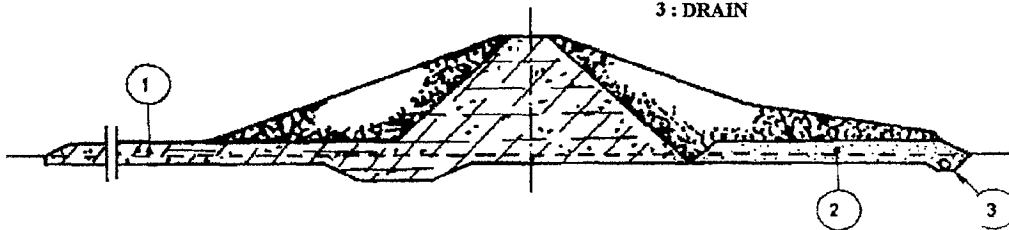


Fig. 4 : Tapis imperméable

5-1.5. Le tapis et la tranchée de drainage d'aval

Ils sont utilisés pour :

- réduire la sous-pression dans les fondations,
- collecter les eaux d'infiltration,
- empêcher le transport des parties fines du remblai ou de la fondation (Fig. 5).

En général, la longueur du tapis filtrant doit être supérieure à 3 fois la hauteur d'eau maximale, tandis que la profondeur et la largeur de la tranchée ne doivent jamais descendre au dessous de 1,5 m.

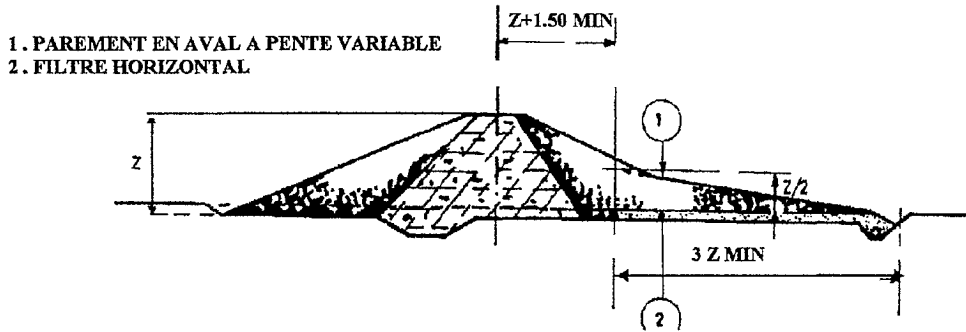


Fig.5: Tapis et tranchée drainants

5-1.6. Calcul de stabilité

La stabilité d'un remblai est déterminée par sa capacité à résister le long des surfaces de glissement potentiel, aux efforts de cisaillement (poussée de l'eau) et aux charges permanentes dépendant du poids mort du remblai et des talus.

Le calcul de stabilité du remblai peut être effectué selon différentes méthodes. La méthode dite suédoise est la plus simple et la plus utilisée. Elle se base sur l'hypothèse que la surface de rupture est cylindrique et à axe horizontal.

Le calcul consiste en la recherche du coefficient de sécurité (F) minimal par l'étude du plus grand nombre possible de cercles de glissement (Fig. 6).

$$F = (F_c + \Sigma F_n) / \Sigma F_t$$

- F_c : forces de cohésion,
- ΣF_n : somme des forces normales,
- ΣF_t : somme des forces tangentielles.

$$F = [C.L + (N - P) \operatorname{tg} \phi] / T$$

- C : Cohésion,
- L : Longueur de l'arc du cercle de glissement,
- N : Forces normales,
- P : pression hydrostatique interne,
- T : Forces tangentielles,
- ϕ : angle de frottement interne.

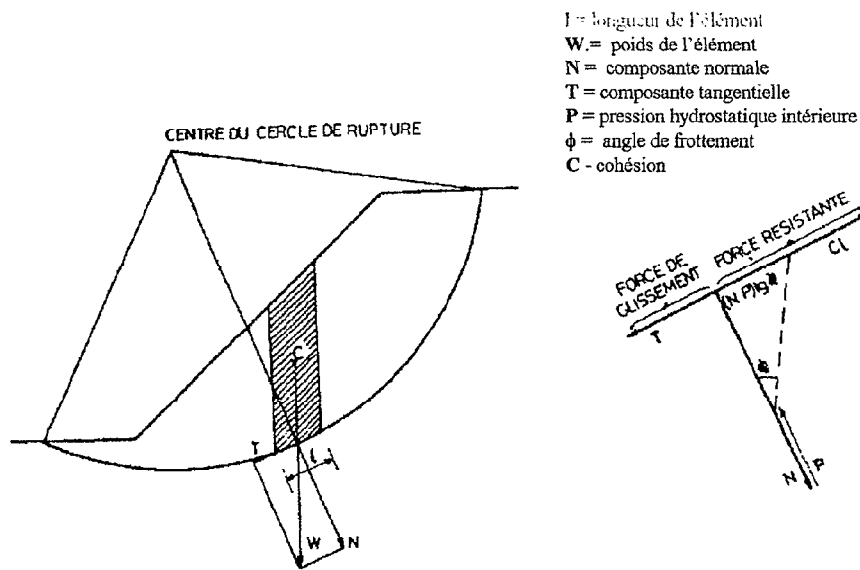


Fig. 6 : Schéma du calcul de stabilité

Le calcul de stabilité doit être effectué dans deux principaux états :

- état de service,
- état de vidange rapide,

Il doit être effectué pour le talus amont en condition de vidange rapide et pour le talus aval en condition de saturation avec l'eau au niveau des plus hautes eaux.

Pour que l'ouvrage soit stable, il faut que $F > 1,4$.

Les paramètres rentrant dans le calcul de stabilité sont :

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| - l'angle de frottement : | ϕ (°) |
| - la cohésion : | C (t/m ²) |
| - la teneur en eau : | θ (%) |
| - le poids spécifique : | ρ_s (tm ³) |
| - la densité humide : | γ_n (tm ³) |
| - la densité saturée : | γ_s (tm ³) |
| - le coefficient de perméabilité: | k (m/s) |

En pratique, on utilise un des programmes de calcul de stabilité des barrages qui offrent plusieurs possibilités de calcul de stabilité par différentes méthodes.

5-2. LES OUVRAGES ANNEXES

5-2.1. L'évacuateur de crues

Dans le cas des petits barrages en terre, l'évacuateur de crue, efficace et économique est le déversoir de surface qui est généralement constitué par un chenal latéral à faible pente d'écoulement, percé dans l'une des berges (Fig. 7).

Le point le plus vulnérable de ce type d'évacuateur est celui où l'eau rejoint le cours d'eau. En ce point, on construit généralement un bassin de dissipation pour éviter les risques d'érosion.

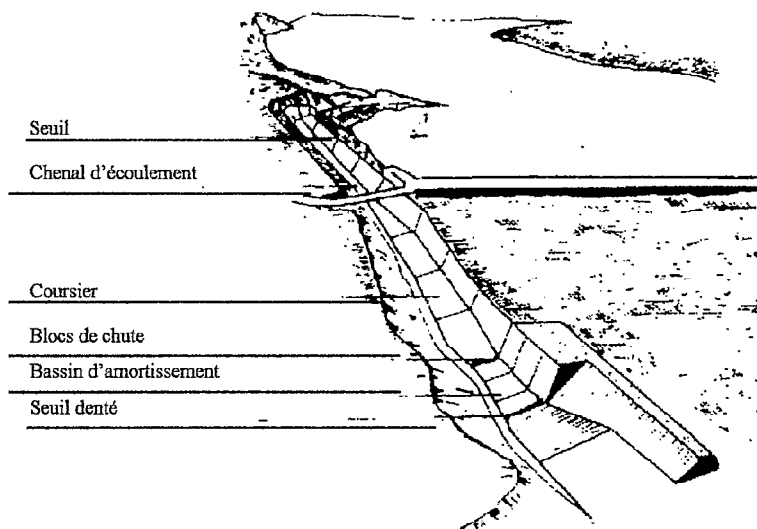


Fig. 7 : Evacuateur de crues

L'évacuateur de surface est formé de 4 éléments (fig. 7)

- le déversoir,
- le chenal d'écoulement,
- le coursier,
- le bassin de dissipation.

5-2.1.1. Le déversoir

Il est situé dans la partie supérieure de l'évacuateur à la même côte que la retenue normale.

La capacité, d'évacuation est contrôlée par le déversoir dont le débit (Q) est fonction de la charge au dessus du seuil (h) et du profil de sa crête.

Généralement, on adopte soit le déversoir à seuil large (Fig. 9) soit le déversoir à seuil déversant (Fig. 10).

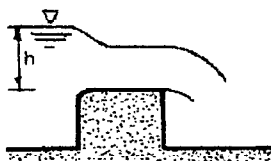


Fig.8: déversoir à seuil large
 $\mu = 0,38$

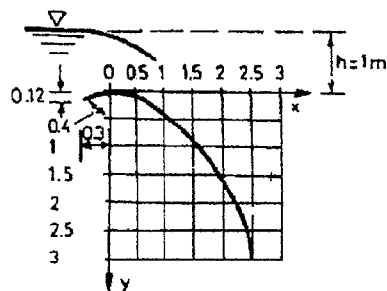


Fig. 9: seuil déversant
 $\mu = 0,48$

Pour un déversoir de longueur L , le débit (Q) est donnée par la formule suivante :

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$\mu = 0,38$ ou $\mu = 0,48$ selon le type du seuil (Fig. 9 et 10)

h : charge d'eau au dessus du déversoir (m)

Le dimensionnement du déversoir de l'évacuateur de crue est basé sur le débit de crue (Q_T) qui est déterminé, au niveau de l'étude hydrologique des lacs collinaires pour une période de retour (T) donnée.

Pour les lacs collinaires, on adopte une période de retour de 50 ans si la hauteur (H) de la digue ne dépasse pas les 5 m et 100 ans pour $H > 5$ m .

La charge (h) est généralement comprise entre 1 et 1,5 m, ce qui permet de déterminer la longueur du déversoir (L).

Le débit maximum (Q) qui passe à travers le déversoir est le débit de crue (Q_T), ce qui donne :

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

$$\text{d'où } L = Q / \mu h \sqrt{2gh}$$

5-2. 1. 2. Le chenal d'écoulement

Il se situe à l'aval immédiat du déversoir. Il doit avoir une pente suffisamment faible ($I < I_c$) pour assurer un écoulement fluvial.

La forme rectangulaire est généralement la plus adoptée pour le chenal d'écoulement.

5-2. 1.3. Le coursier

Le passage en écoulement torrentiel au niveau du coursier est assuré par le rétrécissement formé au niveau du changement de pente (section de contrôle).

La forme du coursier est soit trapézoïdale soit rectangulaire. Le coursier peut être réalisé :

- en béton,
- en maçonnerie,
- en terre revêtue d'herbe ou de cailloux,

Pour déterminer la profondeur normale d'eau (h) dans le coursier, on utilise la formule de Manning :

$$Q = (1/n) R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot S$$

n : coefficient de Manning

I : pente du coursier,

S : section mouillée,

R : rayon hydraulique ($R = S/P$, P : périmètre mouillé).

Pour déterminer la profondeur normale (h) dans le coursier, on fixe la forme géométrique et la pente du coursier et on calcule (h) par itération à partir de la relation :

$$S \cdot R^{2/3} = n \cdot Q_T / \sqrt{I}$$

(S) et (R) sont tous deux fonctions de (h), donc le terme ($S \cdot R^{2/3}$) est une équation en (h).

(Q_T), (n) et (I) sont connus, ce qui permet de calculer le terme ($n \cdot Q_T / \sqrt{I}$).

On calcule les valeurs du terme ($S \cdot R^{2/3}$) pour des valeurs successives de (h) jusqu'à l'obtention de l'égalité.

$$S \cdot R^{2/3} = n \cdot Q_T / \sqrt{I}$$

La valeur de (h) qui donne cette égalité est la valeur recherchée.

5-2.1.4. Bassin de dissipation

a) Conception

A la sortie du coursier, il faut prévoir un dispositif pour dissiper l'énergie cinétique de l'eau. Il s'agit d'un ouvrage qui, par création d'un ressaut hydraulique, transforme l'écoulement torrentiel au niveau du coursier à un écoulement lent pouvant être restitué dans le lit de l'oued sans risque d'érosion. Le bassin de dissipation est le dispositif plus utilisé (Fig. 10).

Pour obtenir un ressaut stable, il faut que le nombre de **Froud** (F) soit compris entre 4,5 et 9.

Il est opportun que le ressaut commence au pied du coursier pour limiter la longueur du bassin. Pour cela, il est nécessaire que le fond du bassin soit plus bas que celui du fond du lit de l'Oued.

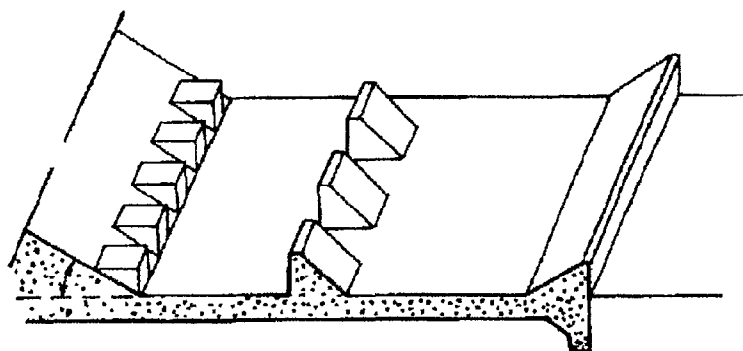


Fig. 10 : Bassin de dissipation équipé de blocs

b) Dimensionnement

Soit (L) la longueur du bassin de dissipation et (l) sa largeur et soient (h_1) et (h_2) respectivement les tirants d'eau amont et aval dans ce bassin (Fig. 11).

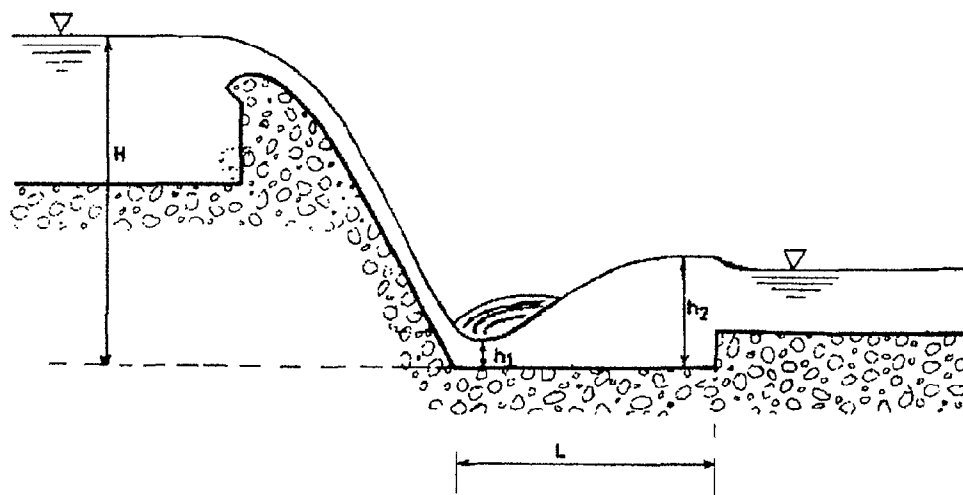


Fig. 11 : Dissipateur à ressaut hydraulique

La vitesse d'eau (V_1) dans le bassin de dissipation est :

$$V_1 = 0,8 \sqrt{2g(H-h_1)} \quad (1)$$

H : hauteur d'eau par rapport au fond du bassin.

Le débit (Q) qui passe dans le bassin de dissipation est :

$$Q = V_1 h_1 l \quad (2)$$

L'inconnu dans les deux équations est la hauteur (h_1).

Pour déterminer (h_1), on attribue des valeurs successives à (h_1), et on calcule chaque fois la vitesse (V_1) puis le débit (Q) jusqu'à l'obtention d'une valeur de (Q) égale au débit de crue (Q_T).

La longueur (l) étant prise arbitrairement égale à 2 fois celle du coursier.

La valeur de (h_1), qui donne $Q = Q_T$ est la valeur recherchée.

La hauteur (h_2), est déterminée par la relation :

$$h_2 = (h_1/2) (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

Le nombre de Froude (F) est donné par la relation :

$$F = V_1 / \sqrt{gh_1}$$

La longueur (L) du bassin de dissipation correspondant à celle du ressaut est donnée par la relation :

$$L = 6 (h_2 - h_1)$$

5-2.2. Ouvrages de prise et de vidange

Les ouvrages de prise sont souvent combinés avec ceux de vidange de fond. Ils doivent être situés au dessus de la tranche morte et rattachés à l'aval par une conduite vannée (amont et aval) traversant la digue (Fig. 12).

Pour éviter l'effet de renard le long de la conduite, celle-ci doit être enrobée au niveau de connexion de deux éléments par une couche de 30 à 50 cm de béton. La prise d'eau proprement dite peut être fixée à une tour de prise (Fig. 13).

C'est la vidange de la retenue qui détermine le diamètre de la conduite. Généralement pour les petites retenues collinaires, on installe des conduites de 200 à 400 mm de diamètre.

Bibliographie :

Chérif B., Mizouri M., Aouina M.S., Khaldi R., Laribi M.M., (1995) : Guide de la Conservation des eaux et des sols. Ministère de l'Agriculture D/CES. FAO. Projet PNUD FAO TUN/86/020. 274 p.

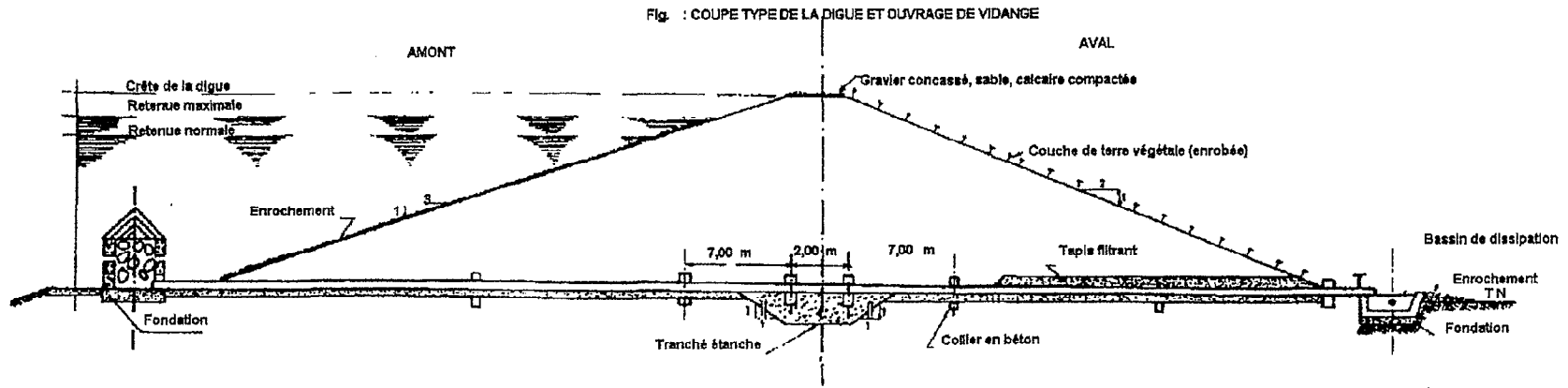


Fig. 12: Ouvrage de prise et de vidange

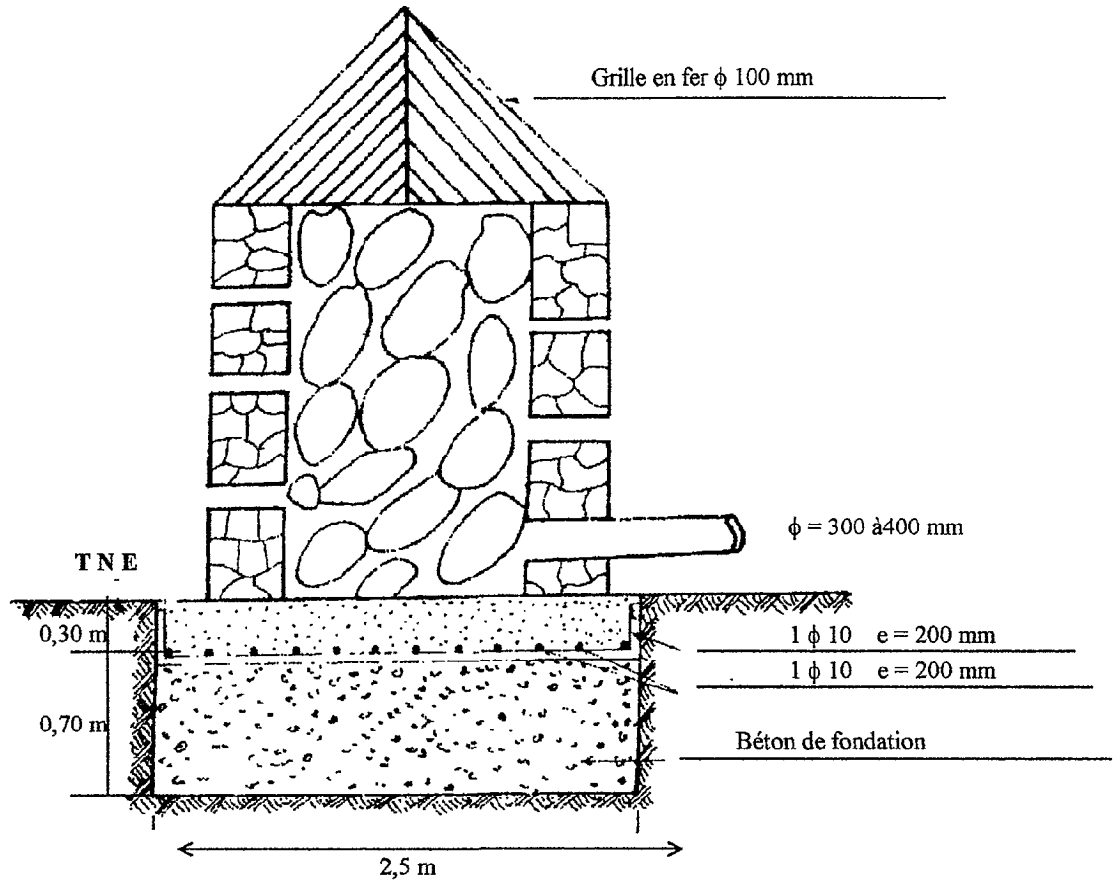


Fig. 13 : Tour de prise et de vidange

VI. HYDROLOGIE DES LACS COLLINAIRES DU SEMI-ARIDE TUNISIEN (D'après Albergel et al, 1997, 1998).

6-1. Dispositif expérimental et méthodes

6-1.1. Installation expérimentale d'un lac collinaire et acquisition des données

Un lac collinaire est équipé d'une échelle limnimétrique, d'un pluviomètre journalier, d'un bac à évaporation et de deux centrales d'acquisition automatique de données ; la première est reliée à un capteur pluviométrique à augets basculeurs (0.5mm de pluie) et la seconde à une sonde immergée mesurant le niveau de l'eau au cm près et sa température. L'évacuateur de crues est aménagé pour disposer d'un seuil déversant permettant l'estimation des débits. Les données caractérisant le bassin versant, la retenue et la station de mesures hydrologiques sont consignés dans une banque de données géo - référencées. Celle-ci est remise à jour après chaque modification de l'appareillage, nouvelle mesure de la bathymétrie ou changement constaté de l'occupation des terres.

La bathymétrie de chaque lac est effectuée au moins une fois par année hydrologique. Elle est rapportée au nivellement fin du site et permet d'apprécier le taux d'envasement de la retenue et d'établir les courbes « Hauteur / Volume et Hauteur / surface ».

6-1.2. Méthode du bilan hydrologique

Sur un intervalle de temps t , l'équation générale du bilan hydrique d'une retenue découle de l'application du principe de la conservation des volumes d'eau (figure 1). Elle peut s'écrire :

$$\Delta V = (V_r + V_{ecs} + V_p + V_f) - (V_{ev} + V_d + V_{vi} + V_u) \quad (1)$$

ΔV : étant la variation de stock dans la retenue. Elle est connue très précisément à partir de l'enregistrement limnigraphique et la courbe de cubature de la retenue (1 donnée toutes les 5 minutes pour une variation de hauteur de 1 cm du plan d'eau).

V_r : les apports en provenance du ruissellement des versants.

V_{ecs} : les apports souterrains.

V_p : les apports des précipitations tombant directement sur la retenue. Ils sont connus précisément à partir des enregistrements pluviographiques et de la courbe hauteur/surface de la retenue.

V_f : les apports dus à la fonte des neiges. Ils sont nuls pour la plupart des retenues étudiées. Ils existent en hiver pour les lacs d'altitude mais représentent à l'échelle annuelle une quantité souvent négligeable.

V_{ev} : le volume d'eau évaporé. Il est connu en multipliant l'évaporation journalière par la surface moyenne de la retenue le même jour.

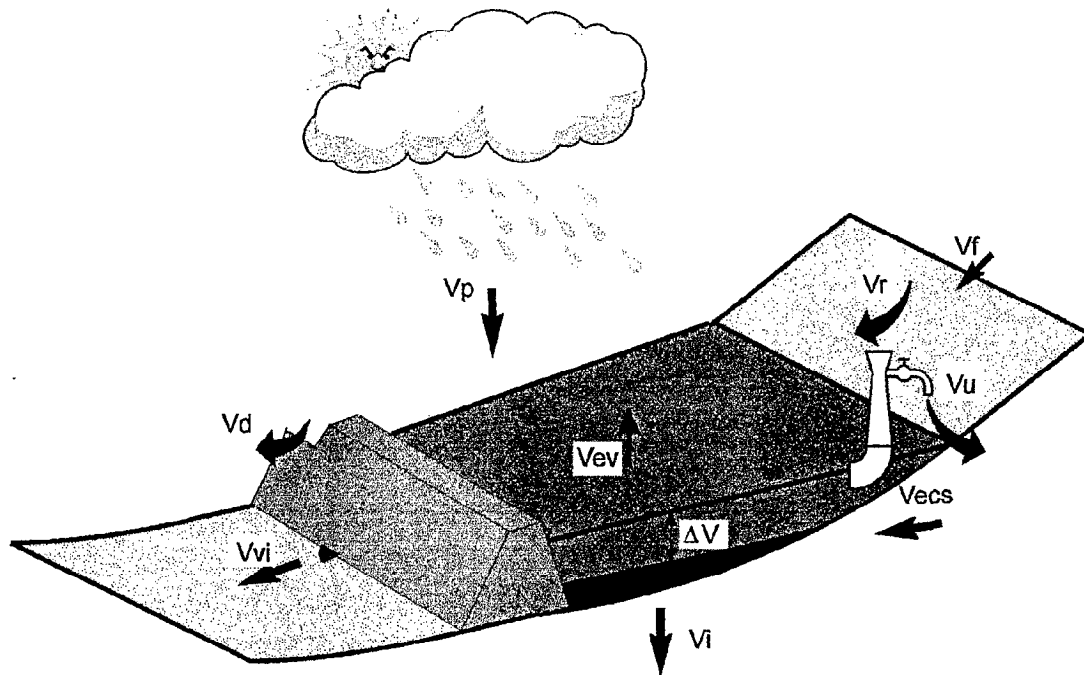
V_d : le volume d'eau sortant de la retenue par déversement. Il est connu avec une bonne précision lorsque le déversoir est étalonné. Pour la plupart des lacs, on se contente d'appliquer une formule de déversoir adaptée à sa géométrie.

V_{vi} : le volume sortant par la vanne de vidange. Il est connu par l'intermédiaire des observateurs qui notent les cotes de début et de fin de vidange ainsi que la durée de la vidange.

V_i : les pertes par infiltration (à la hauteur du barrage ou dans le fond de la retenue).

V_u : le volume d'eau prélevé pour divers usages. Il est estimé à partir d'observations simples : compteur volumétrique sur les tuyaux d'amenée, observation des temps de pompage...

Figure 1 : Bilan hydrologique d'un lac collinaire



6-1.3. Reconstitution des apports immédiats au cours d'un événement pluvieux

De l'équation 1, on tire la quantité $V_r + Vecs$ qui représente l'écoulement naturel de l'oued à l'entrée de la retenue :

$$V_r + Vecs = \Delta V - V_p - V_f + V_{ev} + V_d + V_{vi} + V_u \quad (2)$$

Les apports les plus importants aux retenues se font par le ruissellement direct des eaux de pluies sur les versants. Ils constituent des crues concomitantes aux averses. Ces crues sont bien définies sur l'hydrogramme de la retenue. Elles durent quelques heures. Pendant la durée de la crue, l'équation de bilan peut se simplifier de la façon suivante : $Vecs$ est très petit devant V_r ; V_f est négligeable lorsqu'il n'est pas nul ; $V_{ev} + V_i + V_u$ est très petit sur le pas de temps de la crue. L'équation 2 devient :

$$V_r = \Delta V - V_p + V_d + V_{vi} \quad (3)$$

En dérivant l'équation 3 par rapport au temps on obtient :

$$Q_e = d\Delta V/dt - dV_p/dt + Q_s + dV_{vi}/dt \quad (4)$$

Avec : Q_e = débit entrant dans la retenue en l/s ; $d\Delta V/dt$ = la différence de volume stockée pendant le temps t (ici 5 min.) et rapporté au milieu de l'intervalle de temps ; dV_p/dt = la différence de volume précipitée pendant le temps t et rapporté au milieu de l'intervalle de temps ; Q_s = débit sortant par le déversoir et calculé à partir de la formule hydraulique du seuil ; dV_{vi}/dt = la différence de volume évacué par la vanne de vidange pendant le temps t et rapporté au milieu de l'intervalle de temps.

6-1.4. Estimation des débits instantanés déversés

A l'entrée de chaque évacuateur est construit un seuil en béton. La pente dans le canal d'évacuation à l'aval est suffisante pour que le seuil ne soit pas noyé, sauf en cas de débordement exceptionnel. Ce seuil est aux abords immédiats de la retenue, ce qui permet de supposer que la vitesse initiale est nulle. On peut, donc utiliser la formule d'écoulements sur les seuils.

Formule de Bazin (in Nouvelot 1993) : $Qs = 0,385 \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{2/3}$ (5)

avec: Qs en m^3/s , b et h respectivement largeur et hauteur en m de la lame d'eau sur le seuil.

Lorsque l'évacuateur à la forme d'un canal rectangulaire dont le fond est pavé de blocs plats cimentés, il est possible de l'équiper d'un limnigraphe et de lui appliquer les formules des écoulements en régime permanent.

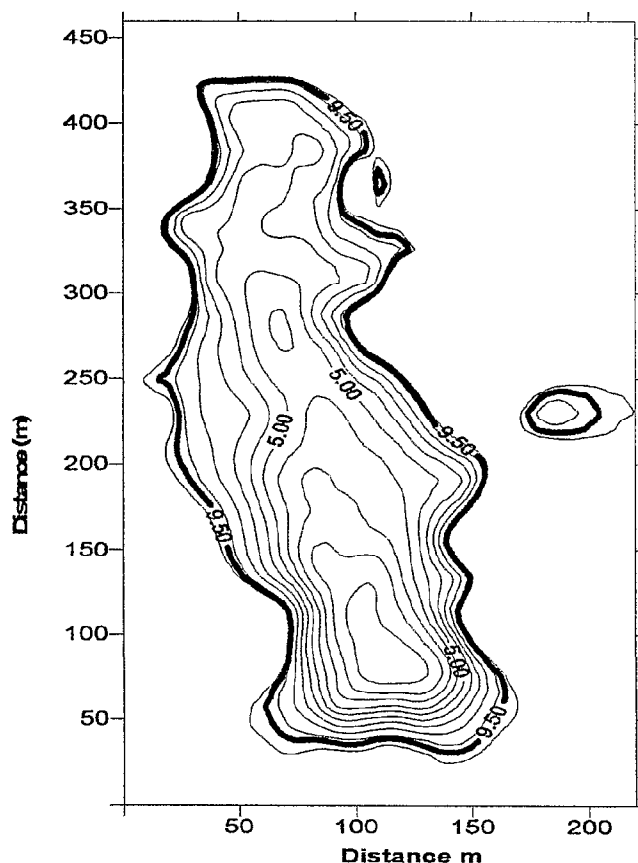
Formule de Manning-Strickler (in Nouvelot 1993): $Qs = s \cdot n \cdot i^{1/2} \cdot Rh^{2/3}$ (6)

avec: Qs : le débit en m^3/s ; s : la section mouillée, en m^2 ; n : le coefficient de rugosité de Strickler; i : la pente de la ligne d'eau, en m/m ; Rh : le rayon hydraulique, en m, avec $Rh = s/p$ (p étant le périmètre de la section mouillée).

6-1.5. Actualisation de la courbe de cubature de la retenue et estimation du transport solide.

La bathymétrie de la retenue se fait par sondages ponctuels du fond de la retenue suivant des transversales matérialisées par un câble tendu entre les deux rives. Les extrémités de chaque transversale sont nivelées et positionnées sur le plan de recollement de la retenue. Chaque point sondé (environ 500 par lacs) est défini par trois coordonnées cartésiennes (situation et profondeur). Une géostatistique par la méthode du Krigeage (Matheron, 1965), permet d'établir la bathymétrie du lac (fig. 2) et la relation « hauteur / volume » du lac. Le volume de vase est établi par différence des volumes utiles d'une année à l'autre. La retenue se comporte comme un piège à sédiments et lorsqu'elle n'a pas déversé, le volume de vase correspond au transport solide total produit par le bassin. Dans le cas de déversement, on attribue aux volumes déversés une concentration moyenne de matière en suspension. A l'assèchement du lac, il est possible de prélever une carotte de vase et individualiser les apports de chaque événement pluvieux ou groupe d'événements si ces derniers ne sont pas suffisamment espacés dans le temps pour qu'une décantation complète se produise.

Figure 2 : Bathymétrie du lac de Sbahia (Octobre 1996)

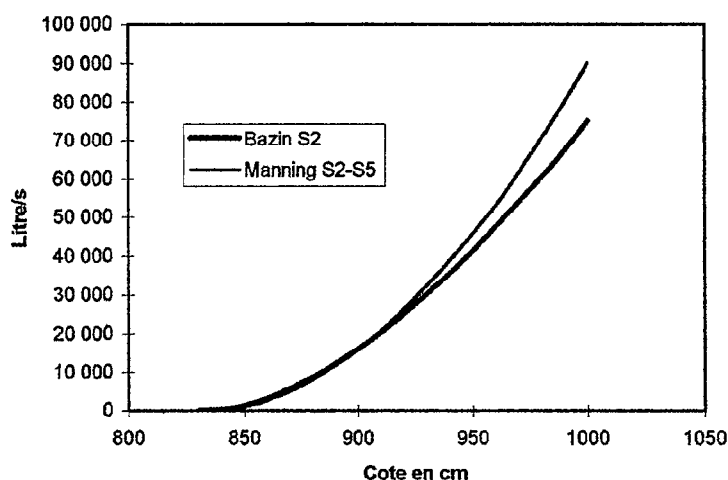


6-2. Résultats

6-2.1. Etalonnage « hauteur / débit » de l'évacuateur de crue

La figure 3 montre deux courbes d'étalonnage « hauteur / débit » obtenues pour l'évacuateur de crue du lac d'El Gouzine (Larbi, 1996). La première se base sur la formule du seuil dénoyé qui est appliquée au seuil construit à l'entrée de l'évacuateur de crue (équation 5). La seconde est obtenue à partir de l'évacuateur de crue considéré comme un canal à ciel ouvert. Le déversement commence à la cote 830 cm à l'échelle dans le lac. Jusqu'à la cote 920 cm les deux étalonnages sont équivalents. Au delà de cette cote, le second donne des débits plus forts ; le seuil est alors noyé et les hypothèses du premier étalonnage ne sont plus vérifiées. Notons qu'en trois années d'observations la cote maximale atteinte est 865 cm et que la crête de la digue est 10 m.

Figure 3 : Etalonnage du déversoir d'El Gouzine



6-2.3. Reconstitution des crues entrant dans la retenue

L'application de l'équation 4 aux données l'épisode orageux du 20 au 25 septembre 1995 recueillies à El-Gouzine permet la reconstitution des crues qu'il a provoquées et le tableau 2 consigne les principaux paramètres. Sur le graphique (Fig.4), on a superposé l'hydrogramme de la crue reconstituée, l'hydrogramme de déversement dans l'évacuateur de crues et le hyétogramme des averses. La première crue avec un volume de 151000 m³ remplit la retenue sans déverser. Les crues du 23 et 24 avec un volume de 137000 m³ donnent lieu à un déversement de 92000 m³. On remarque un fort laminage de la pointe de crue (environ 40 %) en sortie du déversoir.

6-2.3. Bilan en eau de la retenue / régime hydrologique

L'équation de bilan (1) est calculée tous les jours après reconstitution des éventuelles crues. Le tableau 1 donne les bilans hydrologiques des lacs collinaires suivis durant l'année 1995-1996.

6-2.4. Envasement / Erosion

Avant les crues de l'été 1995, les taux d'envasement total des retenues variaient de 0 à 33% avec une très forte diversité de cas. Seize retenues, de construction récente (postérieure à 1988) ont un faible taux de comblement, inférieur à 5% de la capacité globale du réservoir. Deux lacs ont un taux d'envasement compris entre 10 et 20% et deux autres un taux supérieur.

Les orages violents de juillet et septembre 1995, puis l'année pluvieuse de 1995-1996 ont considérablement modifié ces taux d'envasement pour certains lacs.

Les 24 unités « lacs collinaires », bien suivies par des mesures d'envasement depuis 1993, avaient une capacité initiale totale de stockage de 2 615 000 m³, elles ont perdu 430 000 m³, soit 16.5% pour une durée d'existence moyenne de 4.7 années. Soit une perte moyenne 3.5 % de la capacité de stockage par an. Suivant les sites, l'importance de l'envasement est très variable. Pour comparer l'envasement des différentes retenues, on a rapporté sa perte de

volume à l'unité de surface de son bassin et à l'année. Cette grandeur exprimée en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ varie de 1.2 à 22.7, sa moyenne est de 9.8 et son écart-type de 6.

Figure 4 : Reconstitution de l'écoulement (El Gouazine, 23-24 septembre 1995)

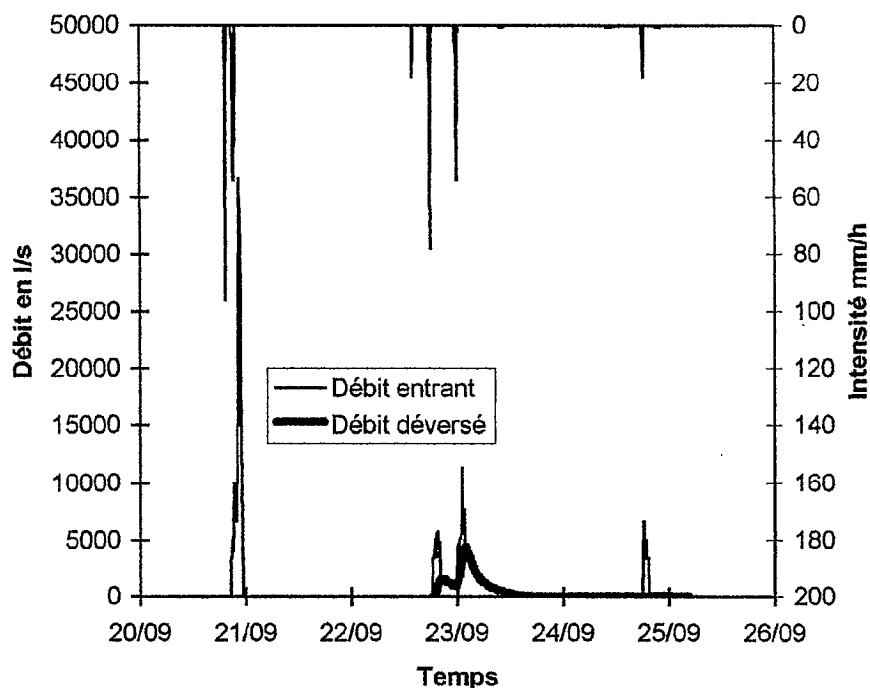


Tableau 1 : Bilan hydrologique des lacs collinaires (1995-1996)

| Lac | Capacité initiale m^3 | Pluie (mm) | Volume moyen m^3 | Volume ΔV m^3 | Ruisseau V_r m^3 | Précip. V_p m^3 | Evap. V_{ev} m^3 | Déver. V_d m^3 | Vidange V_{vi} m^3 | Vecs + Vf - Vi - Vu m^3 |
|-------------|--------------------------------|------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Sadine 1 | 34 380 | 773.5 | 4 890 | -16 600 | 141 936 | 7 686 | 11 548 | 151 885 | 0 | -2 789 |
| Sadine 2 | 82 400 | 734.7 | 20 400 | -47 600 | 669 516 | 12 456 | 25 296 | 596 910 | 0 | -107 366 |
| Fidh Naceur | 47 110 | 458.5 | 10 100 | -10 600 | 68 544 | 4 029 | 9 204 | 32 470 | 5 840 | -35 659 |
| Fidh Ali | 134 710 | 495.5 | 47 100 | -15 700 | 94 218 | 14 666 | 38 899 | 0 | 67 100 | -18 585 |
| M'Richt | 42 400 | 797.6 | 25 300 | 16 300 | 49 919 | 10 069 | 25 010 | 0 | 600 | -18 078 |
| El Gouazine | 233 370 | 576.4 | 168 000 | 40 400 | 482 153 | 42 055 | 96 513 | 92 660 | 38 000 | -273 435 |
| Hadada | 82 240 | 615.0 | 55 200 | 19 200 | 298 710 | 12 175 | 30 227 | 101 960 | 67 000 | -92 498 |
| Janet | 94 300 | 667.4 | 42 700 | -10 700 | 578 657 | 17 756 | 38 196 | 232 170 | 264 400 | -72 347 |
| El Hnach | 77 220 | 588.5 | 52 700 | 48 440 | 214 620 | 11 481 | 37 559 | 83 390 | 7 980 | -48 732 |
| Abdessadok | 94 470 | 512.0 | 38 200 | -34 900 | 100 741 | 12 298 | 44 737 | 16 830 | 51 640 | -34 732 |
| Dekikira | 219 100 | 569.0 | 110 000 | 57 800 | 192 589 | 32 997 | 97 254 | 0 | 23 000 | -47 532 |
| Es Senega | 86 630 | 455.7 | 61 200 | 8 200 | 112 435 | 12 572 | 53 667 | 24 030 | 0 | -39 110 |
| Echar | 186 763 | 520.0 | 69 300 | -12 000 | 218 210 | 17 593 | 62 966 | 0 | 63 700 | -121 137 |
| Abdeladim | 164 082 | 427.5 | 15 000 | 6 600 | 59 996 | 5 093 | 21 150 | 0 | 2 560 | -34 779 |
| Arara | 91 150 | 423.3 | 33 300 | -30 300 | 464 592 | 11 312 | 42 804 | 309 100 | 36 300 | -118 000 |
| El Moudhi | 60 500 | 475.5 | 47 400 | -61 270 | 230 389 | 10 463 | 31 812 | 10 270 | 2 000 | -258 040 |
| Sbahia 1 | 127 830 | 793.3 | 63 400 | 53 999 | 247 435 | 18 215 | 34 460 | 4 915 | 160 900 | -11 376 |
| Saadine | 36 220 | 657.0 | 23 000 | -19 965 | 450 034 | 9 632 | 21 989 | 506 730 | 0 | 49 088 |
| Es Seghir | 107 060 | 978.5 | 105 000 | 139 380 | 177 942 | 28 515 | 48 933 | 0 | 4 200 | -13 944 |
| El Melah | 18 170 | 867.0 | 10 400 | 4 410 | 56 833 | 6 390 | 8 232 | 16 880 | 29 880 | -3 821 |
| Kemech | 142 560 | 1 036.5 | 89 300 | 8 200 | 1091 112 | 38 942 | 40 326 | 668 460 | 189 600 | -223 468 |
| Bra. Zaher | 86 540 | 388.9 | 35 200 | -35 585 | 116 271 | 9 383 | 37 447 | 11 600 | 20 200 | -91 992 |
| Jedeliane | 1 550 660 | 469.6 | 427 000 | 343 800 | 543 400 | 37 430 | 122 570 | 0 | 144 000 | 29 540 |
| El Oglia | 5 914 930 | 652.2 | 2 990 000 | 1 230 000 | 7855 580 | 560 380 | 1296 895 | 0 | 3 610 030 | -2279 035 |
| M'Rira | 126 350 | 517.5 | 93 300 | -27 300 | 708 481 | 36 351 | 100 551 | 545 100 | 11 800 | -114 681 |
| Baouejer | 66 030 | 542.0 | 4 870 | 12 950 | 53 940 | 4 083 | 9 328 | 0 | 860 | -34 885 |

En faisant l'hypothèse que la moyenne de l'envasement sur cette période est représentative du régime hydrologique (1 année excédentaire pour deux années sèches), on peut estimer une durée de vie moyenne des barrages (comblement jusqu'à la cote du déversoir) : 25% des lacs auraient une durée de vie inférieure à 20 ans et environ 36% une durée de vie supérieure à 50 ans. Un lac aurait une durée de vie La durée de vie moyenne de l'ensemble des lacs serait de 29 années. Cette estimation n'est, bien sûr, qu'indicative : l'exemple de Sadine présenté ci-dessus montre bien que l'envasement de ces petites unités est plus le fait d'événements isolés que d'une accumulation progressive dans le temps.

En extrapolant le volume moyen de vase piégée par ces 24 unités aux 1000 prévues on obtiendrait un volume de vase piégée de $3.8 \text{ M m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$.

Le tableau 2 donne l'état de l'envasement de chaque lac collinaire suivi et une estimation de sa durée de vie.

Tableau 2 : Envasement des lacs collinaires (1995 -1996)

| Lac | année création | dernière mesure envasement | volume initial en m ³ | volume utile 96 en m ³ | % vol restant sur vol initial | Durée de vie estimée en années | Perte en m ³ /an/ha |
|-------------------|----------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sadine 1 | 1988 | mai-96 | 34 150 | 4 780 | 14.0 | 9 | 9.56 |
| Sadine 2 | 1990 | mai-96 | 82 400 | 20 780 | 25.2 | 8 | 15.73 |
| Fidh ben Naceur | 1990 | mai-96 | 47 110 | 35 070 | 74.4 | 23 | 11.87 |
| Fidh Ali | 1991 | mai-96 | 134 710 | 105 070 | 78.0 | 23 | 14.37 |
| M'Richtel el Anse | 1991 | mai-96 | 41 780 | 36 780 | 88.0 | 42 | 6.33 |
| El Gouazine | 1990 | juin-96 | 233 370 | 216 560 | 92.8 | 83 | 1.55 |
| Hadada | 1992 | mai-96 | 84 970 | 70 910 | 83.5 | 24 | 7.49 |
| Janet | 1992 | mai-96 | 95 570 | 59 560 | 62.3 | 11 | 17.28 |
| El Hnach | 1992 | mai-96 | 77 400 | 58 630 | 75.7 | 16 | 11.88 |
| Abdessadok | 1990 | juin-96 | 92 530 | 66 320 | 71.7 | 21 | 14.23 |
| Dekikira | 1991 | juin-96 | 219 100 | 197 800 | 90.3 | 51 | 13.98 |
| Es Senega | 1991 | juin-96 | 86 420 | 74 570 | 86.3 | 36 | 6.53 |
| Echar | 1993 | juin-96 | 186 840 | 181 540 | 97.2 | > 100 | 1.93 |
| Abdeladim | 1992 | oct-94 | 164 080 | 160 000 | 97.5 | 80 | 3.18 |
| Arara | 1993 | oct-96 | 91 150 | 49 930 | 54.8 | 7 | 19.41 |
| El Moudhi | 1991 | juil-96 | 142 770 | 128 910 | 90.3 | 52 | 10.42 |
| Sbahia 1 | 1993 | oct-96 | 135 570 | 125 020 | 92.2 | 39 | 10.85 |
| Saadine | 1992 | août-96 | 35 620 | 10 920 | 30.7 | 6 | 22.70 |
| Es Seghir | 1992 | oct-96 | 192 460 | 190 440 | 99.0 | > 100 | 1.17 |
| El Melah | 1991 | nov-96 | 15 395 | 13 262 | 86.1 | 36 | 5.02 |
| Kemech | 1993 | août-96 | 142 560 | 131 180 | 92.0 | 38 | 15.45 |
| Brahim Zaher | 1992 | juin-96 | 86 190 | 71 830 | 83.3 | 24 | 7.73 |
| El Ogla | 1989 | nov-96 | 5 887 080 | 5 096 020 | 86.6 | 52 | 14.25 |
| Baouejer | 1991 | juin-96 | 66 030 | 59 970 | 90.8 | 54 | 2.49 |
| M'Rira 2 | 1991 | juin-96 | 126 350 | 114 590 | 90.7 | 54 | 3.84 |

NB : les volumes pris en compte sont ceux au déversement

La dernière colonne représente la quantité de sédiments accumulée dans le barrage rapporté à l'année et à la surface du bassin.

Conclusion

Depuis 1994, un annuaire consignant toutes les observations réalisées au cours de l'année hydrologique sur ce réseau est publié. Une banque informatisée des données hydrologiques est constituée. Les paramètres des bassins versants sont également consignés dans une banque informatisée de données. Les différentes cartes des bassins versants sont en cours de réalisation en utilisant le SIG. La recherche d'indicateurs fiables du fonctionnement hydrologique de ces bassins est le premier objectif de ce travail. La modélisation et la simulation hydrologique permettront de connaître précisément la ressource, d'apprécier l'impact des aménagements sur cette ressource et de définir des règles de gestion.

Références bibliographiques

- Albergel J. & al (1996) : Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1994-1995 .Réseau pilote de surveillance hydrologique. Ministère de l'Agriculture. D/CES - ORSTOM. Tunis. 140 p.
- Albergel J. & al (1997) : Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1995-1996 .Réseau pilote de surveillance hydrologique. Ministère de l'Agriculture. D/CES - ORSTOM. Tunis. 184 p.
- Albergel J. & Rejeb N. (1997) : Les lacs collinaires en Tunisie : Enjeux, contraintes et perspectives. Cr. Acad. Agric. Fr., 1997, pp. 77-88. Séance du 19 Mars 1997. Note présentée par J. ALBERGEL. Discussion pp. 101-104.
- Banque Mondiale (1993) Gestion des ressources en eau. In Doc. de politique générale de la Banque Mondiale. 160 p.
- Conac G., Savonnet Guyot C., Conac F., (1984). Les politiques économiques de l'eau en Afrique. Développement agricole et participation paysanne. Acte du colloque de la Sorbonne 1983. Economica ed.
- Dumont R. (1986). Pour l'Afrique, j'accuse. Terre humaine. Ed. Plon. Paris. 457 p.
- ICWE (1992). The Dublin Statement and Report of the Conference, Organisation Météorologique Mondiale, Conférence préparatoire au Sommet de la Terre Genève, 1992.
- Larbi A. (1996) Les lacs collinaires en Tunisie. Reconstitution des crues. Application au lac d'El Gouazine. Trav. d'initiation à la recherche. 5^{ème} Année H.A.R. INAT / ORSTOM. Tunis. 44 p.
- Matheron G. (1965). Les variables régionalisées et leur estimation. Paris : Masson, 360p.
- Nouvelot J.F. (1993) Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique tropicale et équatoriale. CIEH/ORSTOM/CEMAGREF/FAO . Montpellier. 500 p.
- Talineau J.C., Selmi S. & Alaya K. (1994) Lacs collinaires en Tunisie Semi aride. *Sécheresse. Note originale*. N° 4, Vol. 5 : 251 - 6.