

Valoriser l'eau verte

Comment améliorer la valorisation des eaux de pluies au Maghreb et au Sahel ?

Résumé

Les zones arides sont caractérisées par un déficit structurel des précipitations par rapport aux besoins en eau des cultures. L'adaptation de l'agriculture à l'aridité peut donc se faire par le recours à l'irrigation ou par une meilleure valorisation des eaux pluviales. C'est cette deuxième option qui est analysée dans cette communication et cela pour deux grandes régions arides, le Maghreb et le Sahel. A partir des résultats de la recherche agronomique et de l'analyse des pratiques des agriculteurs, sont passées en revue les différentes techniques permettant d'améliorer l'efficacité des pluies et l'efficacité de l'eau consommée par les cultures. Sur la base de cette analyse sont alors définies des stratégies de culture adaptées à chaque type de milieu et d'agriculture.

Dans les zones arides du Maghreb, il apparaît essentiel de supprimer les semis tardifs qui accentuent le déficit hydrique en fin de cycle. Ce meilleur calage du cycle permet un surcroît de production de 30 à 60% suivant l'intensité de l'aridité. Mais la mise en pratique d'une telle stratégie suppose un recours plus important à la mécanisation et au contrôle des adventices par les herbicides.

Au Sahel, il convient de distinguer les milieux sableux où l'eau ruisselle, des milieux cuirassés où l'eau s'infiltré. Dans les premiers la valorisation des eaux pluviales est en grande partie dépendante de l'entretien de la fertilité des sols qui dans ces milieux est particulièrement fugace. Dans les milieux cuirassés l'objectif prioritaire consiste à limiter le ruissellement qui dégrade les sols et limite la quantité d'eau infiltrée dans le sol et disponible pour les cultures.

Cette communication montre qu'il existe au Maghreb comme au Sahel, une marge de progrès non négligeable en matière de valorisation des eaux pluviales et que dans ces deux régions les agriculteurs disposent de savoirs et savoir-faire permettant cette valorisation sous réserve d'une politique de développement adaptée à la spécificité de leur situation.

Introduction

L'aridité qui concerne le tiers des terres émergées et plus du quart de la population mondiale peut se définir comme un **déficit pluviométrique structurel par rapport aux besoins en eau de la végétation naturelle et cultivée**. Le rapport P/ETP traduit l'intensité de cette aridité.

L'aridité est parfois confondue avec **la sécheresse**, mais celle-ci est un **phénomène conjoncturel** de déficit pluviométrique par rapport à la moyenne. Elle a donc une dimension temporelle (sécheresse de 1982-1984 au Sahel par ex.) alors que **l'aridité, phénomène structurel**, caractérise un lieu et a donc une dimension spatiale. C'est ainsi que l'UNESCO a pu établir en 1977, une carte de la répartition mondiale des régions arides qui fait référence encore aujourd'hui.

Cette carte montre une grande diversité de l'aridité à l'échelle de la planète. En conséquence on ne peut valablement définir une stratégie d'adaptation à l'aridité que par rapport à une région et un type d'aridité donnés. C'est pourquoi, dans cette communication, nous limiterons notre réflexion à

¹ Ancien Directeur scientifique du Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes (CNEARC) devenu l'Irc-SUPAGRO Montpellier, jouveph@wanadoo.fr

l'aridité des régions méditerranéennes et plus particulièrement du Maghreb et l'aridité des zones sahéliennes dont les caractéristiques générales sont sensiblement différentes.

L'adaptation à l'aridité, déficit en eau par rapport aux besoins du couvert végétal, **peut se faire par deux grands types de moyens** :

- soit par l'irrigation, de façon à combler ce déficit en mobilisant ce que l'on appelle *l'eau bleue*,
- soit en valorisant au mieux les précipitations en culture pluviale, ce que l'on appelle *l'eau verte*, ce qui suppose d'améliorer l'efficacité des pluies et l'efficience de l'eau consommée par les cultures. A l'échelle de la planète, ce deuxième moyen correspond à 60% des ressources en eau mobilisables et devrait contribuer pour près de 50% à l'accroissement futur de la production céréalière. C'est ce deuxième moyen que nous nous proposons d'analyser au Maghreb et au Sahel, en mettant l'accent sur les éléments les plus déterminants des stratégies de valorisation de l'eau en culture pluviale dans ces deux régions.

1. Voies et moyens de valorisation des eaux de pluie au Maghreb

Sur la base des recherches faites en aridoculture au cours des trois dernières décennies dans les plaines occidentales du Maroc, en zone aride et semi-aride, on peut établir un schéma général (figure 1) de valorisation des eaux pluviales par les cultures de céréales qui occupent 86% des superficies cultivées de ces zones.

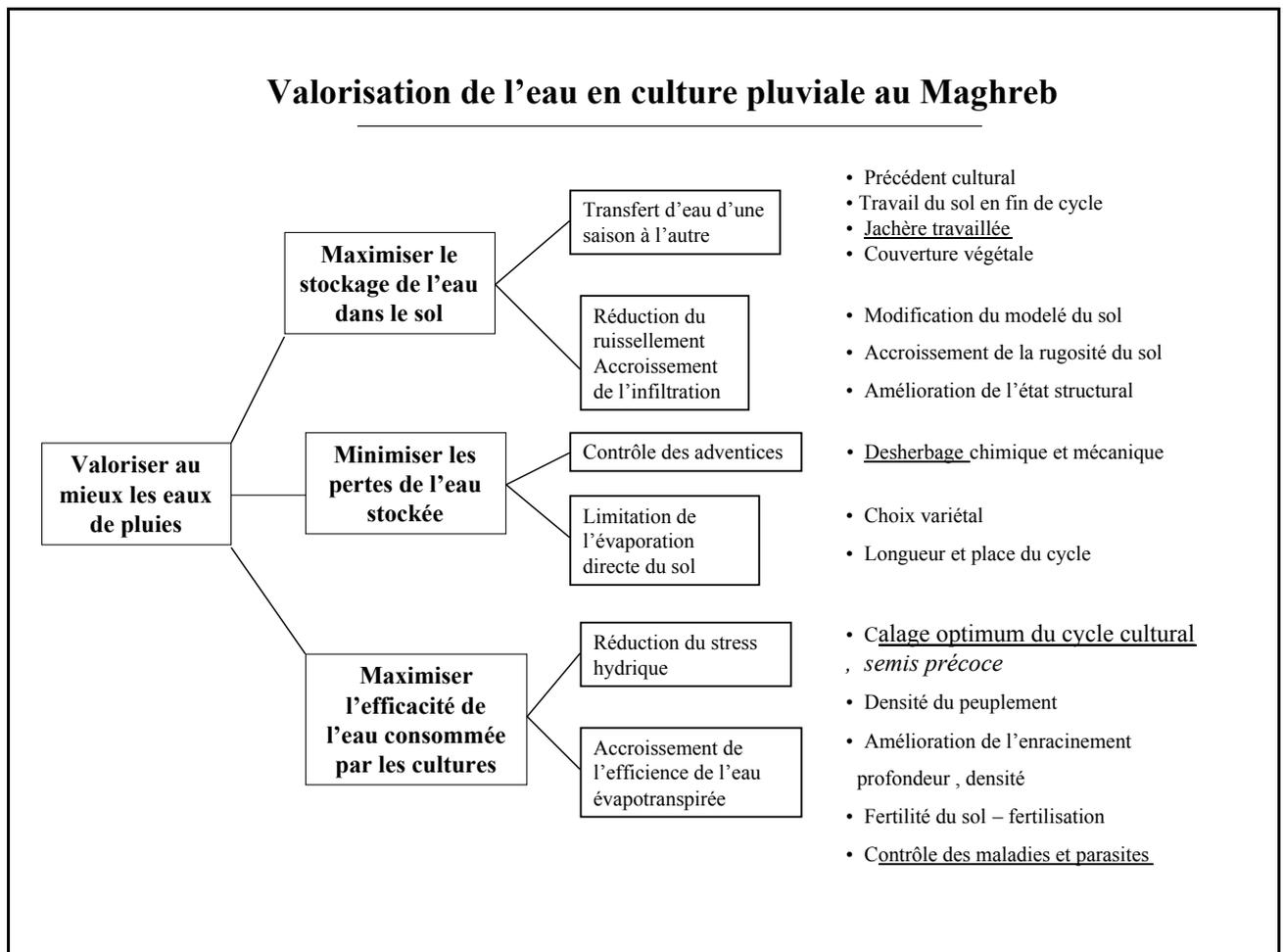


Fig. 1 - Schéma général de valorisation des eaux pluviales par les cultures au Maghreb

Ce schéma montre qu'**il existe trois voies pour valoriser au mieux l'eau en culture pluviale :**

- **La première consiste à maximiser le stockage de l'eau dans le sol**, ce qui peut être fait en transférant de l'eau contenue dans le sol d'une saison ou d'une année à l'autre. C'est l'objectif principal de la jachère travaillée. Mais son efficacité est variable suivant la répartition des pluies et la nature des sols. Par ailleurs le coût du travail du sol et l'absence de production durant une année limite considérablement son adoption.

Ce premier objectif peut aussi être recherché en réduisant le ruissellement et en favorisant l'infiltration des eaux de pluies. Compte tenu de la topographie relativement plane des sols des plaines atlantiques du Maroc et de leur bonne stabilité structurale du fait de leur caractère calcaire, les essais de travail du sol préalable à l'arrivée des pluies n'ont pas mis en évidence un effet significatif de ce travail du sol sur l'économie de l'eau.

- **Minimiser les pertes de l'eau stockée dans le sol, constitue la deuxième voie** pour améliorer la valorisation des précipitations.

Pour cela la réduction de la concurrence des adventices est un objectif prioritaire qui peut être assuré de différentes manières (désherbages manuels, mécaniques et chimiques) Mais en zone aride les adventices ne sont pas nécessairement des mauvaises herbes dans la mesure où elles participent à l'alimentation des animaux si bien que certains agriculteurs limitent délibérément les désherbages chimiques des céréales pour assurer une bonne productivité des jachères fourragères qui leur succèdent.

Par ailleurs toutes les techniques qui limitent l'évaporation directe de l'eau du sol concourent à la valorisation des eaux de pluies, que ce soit le positionnement du cycle cultural ou la pratique du binage. Les expérimentations faites concernant le maintien d'une couverture végétale du sol, entraînant le semis direct, ont montré son efficacité, mais sa faisabilité compte tenu de la valeur économique de la paille est loin d'être acquise.

- **Maximiser l'efficacité de l'eau consommée par les cultures est la troisième voie** pour mieux valoriser les eaux de pluie.

Cet objectif peut-être atteint en augmentant l'efficacité de l'eau évapotranspirée par les cultures par l'amélioration de la profondeur et de la densité de leur enracinement. Le travail du sol peut y contribuer mais, réalisé après les pluies, il entraîne généralement une perte d'humidité du sol. En revanche l'amélioration de la fertilité du sol est favorable à un bon enracinement. Ceci étant, si l'apport de phosphore est le plus souvent bénéfique, la fertilisation azotée est plus controversée notamment en zone aride.

Les maladies et ravageurs des céréales affectent l'efficacité de l'eau en réduisant le rendements. Parmi les moyens de lutte il est intéressant de noter que depuis peu, ont été sélectionnées des variétés de blé tendre et de blé dur résistantes à la mouche de Hesse (Cecidomyie) ravageur qui cause le plus de dégât à ces cultures.

Mais ce qui s'est avéré être le plus déterminant pour accroître l'efficacité de l'eau consommée par les cultures, c'est l'amélioration du positionnement des cycles culturaux.

Du fait du déficit hydrique quasi-systématique que l'on observe à la fin du cycle de culture des céréales, plus le semis est tardif plus grande est la période pendant laquelle la culture va être exposée à ce déficit. Or l'analyse des pratiques des agriculteurs que nous avons faite à la fin des années 70 avait montré que par manque d'équipement, les semis des céréales à l'automne pouvaient s'étaler sur plus de deux mois. Aussi avons-nous fait l'hypothèse qu'en avançant les dates de semis on pouvait améliorer les rendements et donc l'efficacité de l'eau consommée. Les expérimentations faites en milieu paysan ont permis de vérifier le bien fondé de cette hypothèse comme le montre la figure ci-dessous.

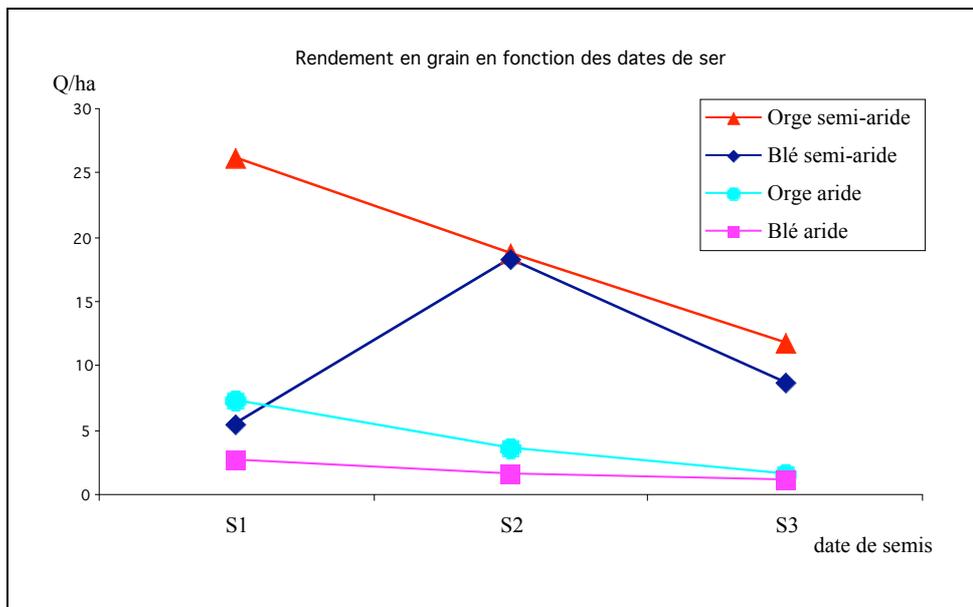


Fig. 2 - Effet de la date de semis sur le rendement du blé et de l'orge en zones semi-aride et aride

A partir d'un modèle de relation déficit hydrique-rendement, on a évalué pour une vingtaine de campagnes agricoles en zone aride et semi-aride, les rendements qu'il aurait été possible d'obtenir pour chacune des dates de semis précédentes. Les résultats de cette simulation indiqués sur la figure ci-jointe, font naturellement apparaître que les rendements potentiels sont plus élevés en zone semi-aride qu'en zone aride, mais ils montrent aussi que les semis précoces sont d'autant plus avantageux que le climat est aride et que, quelle que soit l'aridité, les semis tardifs sont toujours nettement moins productifs.

Zones	Semis		
	précoce	de saison	tardif
Zone aride	8,4	6,8	3,7
Zone semi-aride	14,45	14,67	7,7

Fig. 3 -Rendements potentiels des céréales en fonction des dates de semis (en qx/ha)

Sur la base de ces résultats il a été possible d'élaborer et de proposer, dès les années 80, une nouvelle stratégie de culture qui peut se formuler de la façon suivante :

- Le premier objectif à rechercher est d'améliorer la coïncidence du cycle cultural avec la période pluvieuse en avançant les dates de semis afin de réduire la période de déficit hydrique en fin de cycle

Les expérimentations ont montré qu'il faut semer les céréales le plus tôt possible en zone aride et supprimer les semis tardifs en zone semi-aride.

Par rapport aux rendements moyens enregistrés jusqu'en 1980, une telle stratégie aurait permis d'augmenter de 27% les rendements des céréales en zone aride et de 62% en zone semi-aride, soit un gain total de production d'environ 7 millions de quintaux c'est à dire près de 15 % de la production moyenne nationale.

- Mais compte tenu du sous équipement des agriculteurs, la mise en pratique de cette stratégie d'un avancement et d'une réduction de la période des semis, nécessite le recours à la mécanisation.
- Ceci étant, comme les semis précoces sont plus exposés à la concurrence des mauvaises herbes, l'utilisation d'herbicide en début de cycle constitue un corollaire indispensable à l'avancement des semis.
- Ces améliorations culturales étant faites, il est alors possible et bénéfique d'utiliser des variétés sélectionnées.

Cette stratégie a-t-elle été adoptée ? C'est ce que nous avons essayé de vérifier.

Tout d'abord, nous avons examiné l'évolution au cours des années suivantes de l'emploi des facteurs de production et en particulier de la mécanisation. C'est ainsi que de 1976 à 1990 le taux d'équipement en tracteur est passé, en zone aride, d'un tracteur pour 851 ha, à un tracteur pour 377 ha, en zone semi-aride, d'un tracteur pour 277 ha à un tracteur pour 160 ha.

Dans le même temps on enregistre une augmentation sensible des rendements des céréales en zone semi-aride, passant de 8 qx /ha en moyenne durant la période 75-86, à 15 quintaux pour la période 86-91.

Cette augmentation était-elle imputable à une amélioration des modes de conduite des céréales ou à une pluviométrie globalement plus favorable ?

Pour en juger nous avons comparé les droites de régression pluviométrie-rendement au cours de périodes successives (Cf. fig. 4)

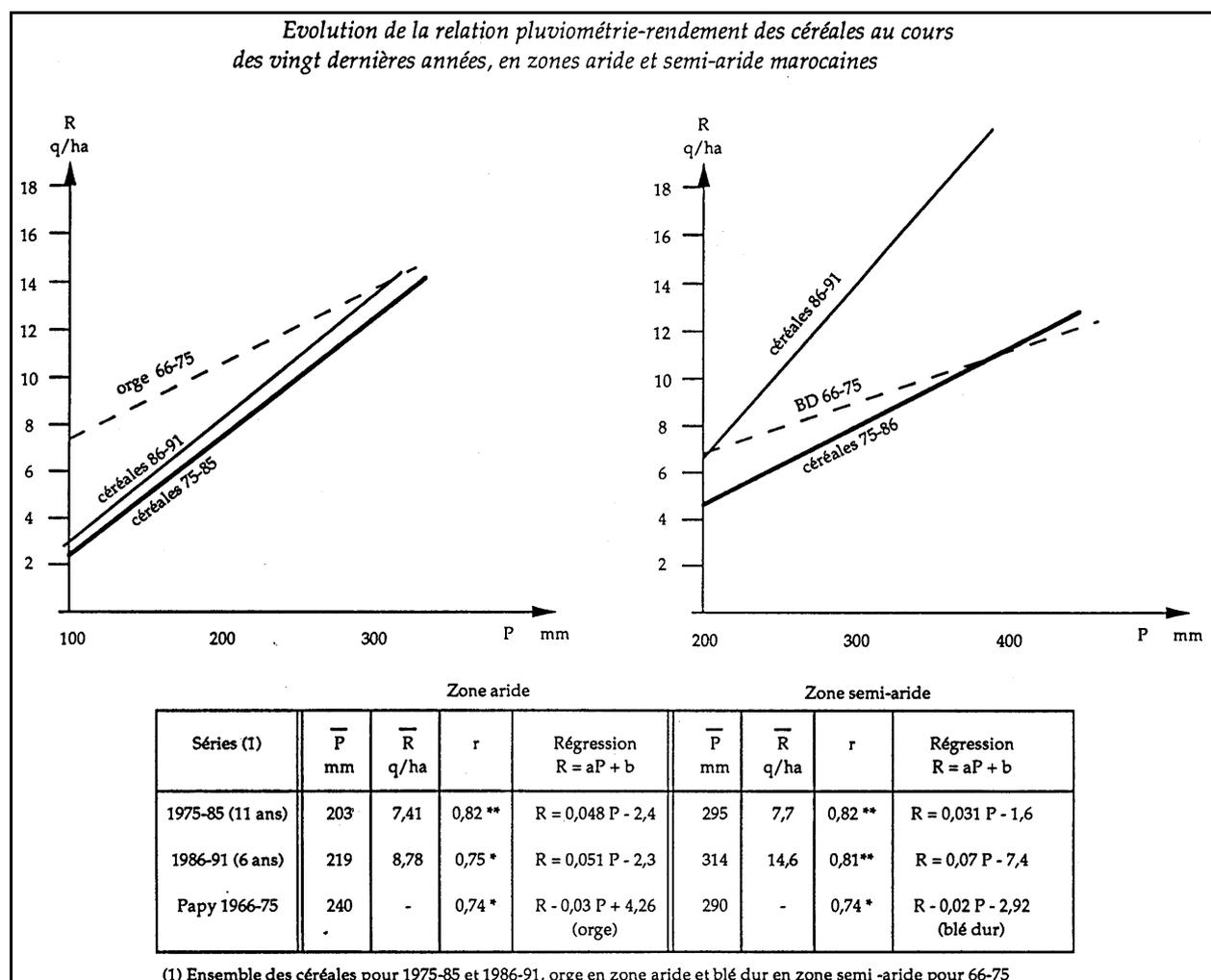


Fig. 4 - Relations pluviométrie - rendement des céréales au cours de périodes successives

Si la pente de ces droites pour l'ensemble des céréales, n'a guère varié en zone aride (la mécanisation ayant servi surtout à l'extension des surfaces cultivées) en revanche, cette pente a été plus forte en zone semi-aride pour la période 86-91, ce qui traduit une plus grande efficacité des précipitations consécutive à un changement de mode de conduite des céréales. Et en effet, des enquêtes de terrains ont montré qu'en zone semi-aride les agriculteurs, suite notamment à l'arrivée du tracteur dans les villages ont modifié leurs itinéraires techniques, les préparations du sol sont devenues plus soignées, les semis plus précoces et l'emploi d'herbicide et d'engrais s'est sensiblement accru.

Ces résultats ont ensuite été validés par les travaux du Centre Régional de Recherche en aridoculture créée par l'INRA Maroc en 1981 à Settat.

2. Les voies d'amélioration de la valorisation des eaux pluviales au Sahel

Les spécificités de l'aridité sahélienne sont bien connues: Il pleut en été, saison appelée hivernage tandis que la période sèche a lieu en hiver et au printemps et dure de 5 à 7 mois en fonction de l'aridité qui s'intensifie suivant un gradient sud-nord. La baisse tendancielle de la pluviosité observée depuis 1968 accentue cette aridité sans que l'on puisse dire que cette péjoration pluviométrique soit l'amorce d'un changement climatique.

L'aridité climatique peut être atténuée ou au contraire accentuée par la nature des sols et leur topographie. C'est précisément ce que l'on observe au Sahel où le concept d'aridité édaphique prend tout son sens.

Au Sahel, du fait de la forte interaction sol-climat, il convient de distinguer les milieux sableux d'origine dunaire, des milieux cuirassés.

Les milieux sableux que l'on trouve à Maradi au Niger dans le bassin arachidier au Sénégal, ont des sols qui présentent des caractéristiques favorables à l'économie de l'eau : leur texture sableuse favorise l'infiltration des eaux de pluie et limite l'évaporation directe du sol, leur grande profondeur leur permet un stockage suffisant des précipitations. Ces caractéristiques ajoutées à la facilité de travail de ces sols, même en sec, expliquent qu'ils soient les plus cultivés.

Les seconds s'organisent suivant une topo séquence qui comprend des plateaux cuirassés non cultivables en amont, auxquels succèdent de longs glacis à faible pente dont la texture s'affine avec la pente et qui débouchent sur des bas-fonds aux sols plus lourds, souvent hydromorphes. Les cultures pluviales se situent sur les moyens et bas glacis tandis que les bas-fonds peuvent porter des cultures de contre saison. Ce type de milieu se rencontre au Yatenga (Burkina-Faso) à Kita au Mali et dans la région du Sine Saloum au Sénégal.

La topographie des terres cultivées sur les glacis et leur texture limono-sableuse, les rendent très sensibles au ruissellement qui peut atteindre 40% des précipitations augmentant d'autant l'aridité.

On voit que la dynamique de l'eau est très différente dans les deux milieux. **Dans les milieux sableux l'eau s'infiltre tandis que dans les milieux cuirassés l'eau ruisselle** ; cette différence est déterminante dans l'élaboration de stratégies de valorisation des eaux pluviales et de lutte contre l'aridité au Sahel.

Stratégie de valorisation de l'eau par les cultures en milieu sableux

Les principaux objectifs à rechercher pour améliorer l'alimentation des cultures pluviales dans les milieux sableux sont représentés sur la figure 5 où l'on retrouve un certain nombre d'objectifs déjà signalés au Maghreb.

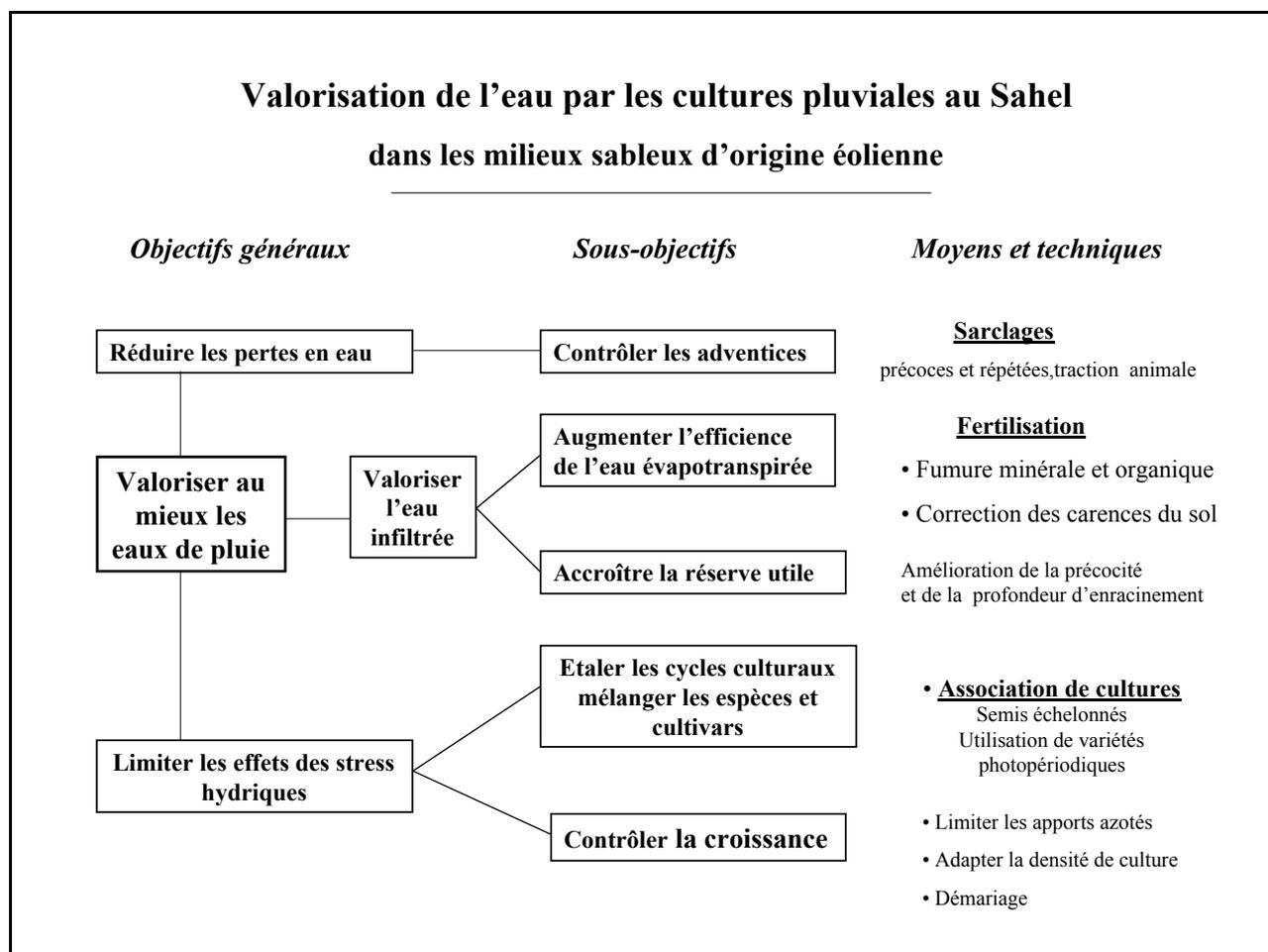


Fig. 5 – Schéma général de valorisation des eaux pluviales dans les milieux sableux du Sahel

- Comme au Maghreb et pour les mêmes raisons le **semis précoce** est un objectif à rechercher. Mais les agriculteurs ne le pratiquent que pour le mil qui peut se semer vite et à peu de frais ce qui limite les risques financiers dus à l'irrégularité des premières pluies qui peut nécessiter des resemis.

- **La pratique des associations culturales**, longtemps ignorée voire combattue par les structures d'encadrement, est une pratique qui, en associant sur la même parcelle des espèces ayant des cycles de développement différents, réduit l'impact du stress hydrique en cours de cycle. C'est donc une pratique antialéatoire d'autant plus adoptée par les agriculteurs que l'aridité est forte.

- Quant au **contrôle des adventices** il est primordial dans un milieu où il pleut en saison chaude et où la nature du sol favorise un démarrage rapide des mauvaises herbes. Quand il est manuel, cas encore très fréquent, c'est l'opération culturale la plus exigeante en main d'œuvre. Le recours à la traction animale améliore sensiblement la productivité du travail et permet un sarclage précoce appelé *radou* dans le Bassin arachidier du Sénégal.

Sols sableux d'origine dunaire présentent un certain nombre d'avantages en matière d'économie de l'eau, en revanche, ils **ont une fertilité très fugace** du fait de leur faible capacité d'échange cationique et de la baisse tendancielle de leur taux de matière organique qu'entraîne leur mise en culture, ce qui se traduit par une baisse rapide des rendements.

Mais cette tendance des sols sableux est compensée par **une capacité tout aussi rapide de régénération de leur fertilité** comme le montrent les différents tests de fertilisation effectués en station comme en milieu paysan. Dans ces tests, on voit qu'un apport limité de fertilisants (50 unités d'engrais phospho-azoté) permet d'accroître très sensiblement les rendements même en année sèche. Ils montrent également qu'il y a une forte interaction des apports conjoints d'azote et de phosphore.

Leur effet est particulièrement manifeste sur le développement du système racinaire ce qui améliore sensiblement l'efficacité de l'eau stockée dans le sol et traduit la **forte synergie qui existe dans ces milieux sableux entre alimentation hydrique et alimentation minérale**.

Ceci étant, les travaux de la recherche agronomique ont montré qu'on ne pouvait gérer à moyen et long terme la fertilité de ces sols uniquement par des apports d'engrais chimiques du fait de l'acidification progressive des sols qu'ils entraînent et qu'il fallait leur associer un apport, même limité, de matière organique (5T/ha/an de fumier par ex.)

En résumé dans les milieux sableux, la valorisation des eaux de pluies est très dépendante de l'entretien de la fertilité des sols. La stratégie que l'on peut proposer pour entretenir cette fertilité peut se formuler de la façon suivante :

- tout d'abord corriger la forte carence en phosphore de ces sols,
- ensuite ne recourir aux engrais chimiques qu'une fois mis à profit les différents moyens endogènes d'entretien de la fertilité des sols : valorisation des sous-produits et des déjections (fumier, compost) associations légumineuses céréales, agroforesterie.

L'objectif est de passer du *cercle vicieux* de la dégradation des sols à un *cercle vertueux* en améliorant la production de biomasse à partir de laquelle il est possible de maintenir un taux suffisant de matière organique dans le sol et une bonne productivité des sols.

On voit donc que l'on peut, avec des investissements relativement modestes, améliorer très sensiblement l'efficacité des eaux pluviales dans le Sahel sableux.

Stratégie de valorisation des eaux pluviales en milieu cuirassé

Les objectifs à rechercher pour améliorer la valorisation des précipitations en milieu cuirassé sont figurés sur le schéma ci-joint (Cf. fig.6)

Comme dans les milieux sableux le contrôle des adventices est un objectif essentiel de même que l'entretien de la fertilité des sols et le calage des cycles culturaux sur la saison des pluies.

Mais du fait de la topographie et de la texture des sols qui favorisent le ruissellement, la stratégie à mettre en œuvre pour valoriser les eaux pluviales dans ce type de milieu doit **donner la priorité à la réduction du ruissellement et de la dégradation des sols** due à l'érosion hydrique et à l'altération des états de surface du sol ; cette dégradation des sols pouvant aller jusqu'à leur stérilisation complète à l'image des fameux *zepelee* du Yatenga

Réduire le ruissellement lutter contre ces dégradations **nécessite des interventions à différentes échelles**. C'est **au niveau du bassin versant** que l'on pourra réaliser les aménagements des hauts-glacis et des plateaux en vue de réduire les écoulements à l'aval. Ces aménagements peuvent être de différents types: création de terrasses, de demi-lunes plantées d'arbres, de cordons pierreux ou de diguettes isohypses végétalisées.

Ces différents aménagements ont montré leur efficacité mais leur mise en œuvre nécessitent des investissements en travail, en argent et en transport qui, au Sahel, ne sont pas à la portée de tous et ne se réalisent le plus souvent qu'avec l'appui de projets ou d'ONG.

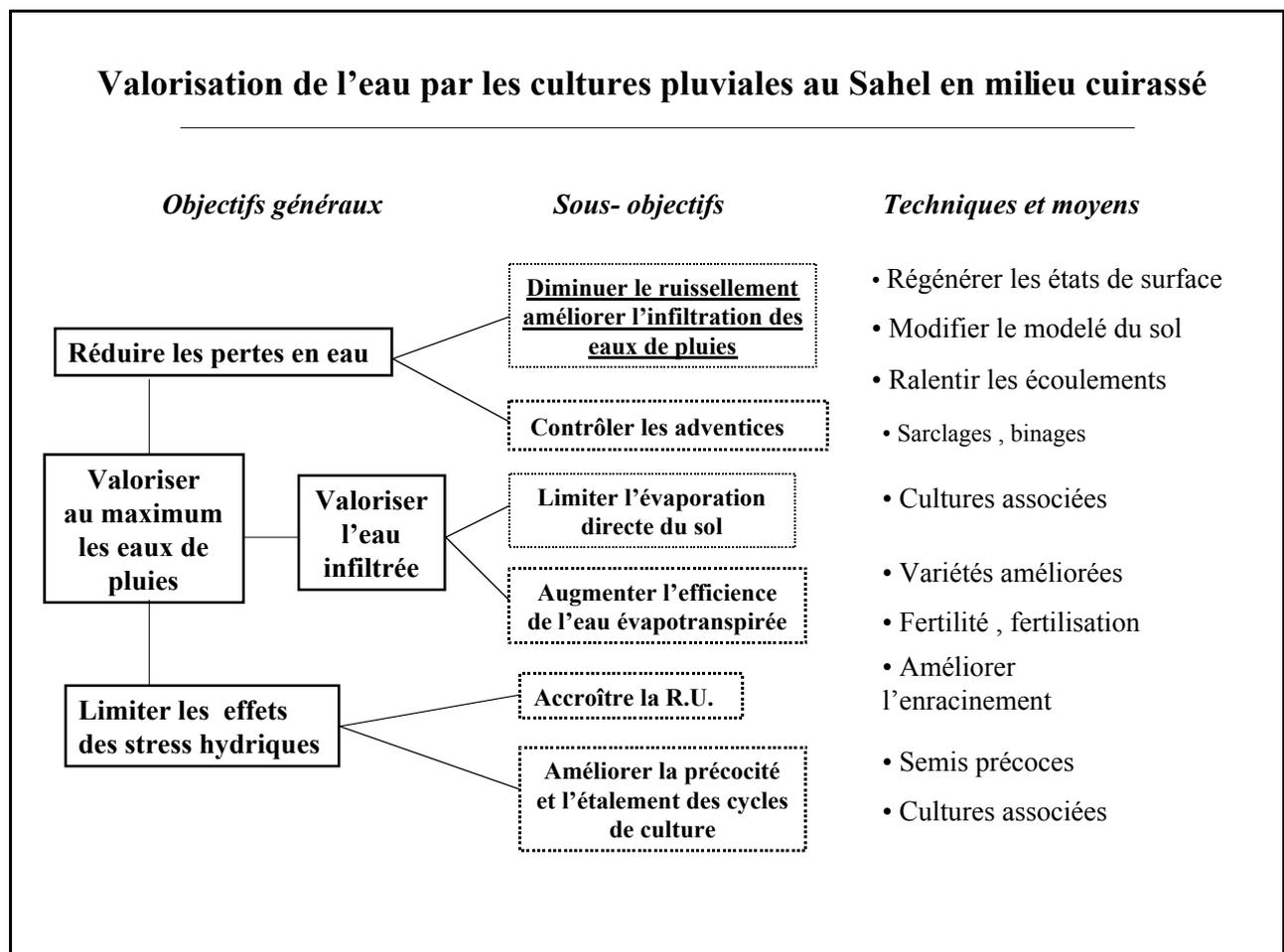


Fig. 6 – Schéma général de valorisation des eaux pluviales au Sahel en milieu cuirassé

La réduction du ruissellement et la régénération des sols dégradés peut aussi se faire à **l'échelle de la parcelle**. De nombreux travaux de recherche ont mis en évidence les effets bénéfiques du travail du sol et en particulier du labour notamment lorsqu'il est associé à un apport de matière organique. Ceci étant le rôle du labour donne lieu à controverse dans la mesure où il entraîne une perte d'humidité du sol et accélère la minéralisation de la matière organique (M.O).

Or, au Sahel, l'entretien du taux de M.O. des sols est un objectif majeur pour lutter contre leur dégradation, restaurer leur capacité productive et améliorer l'efficacité de l'eau.

Un certain nombre de pratiques des agriculteurs sahéliens montrent qu'ils sont bien conscients du rôle essentiel que joue l'apport de M.O. dans l'entretien de la fertilité de leurs sols. Mais disposant de ressources limitées, ils concentrent les apports de M.O. sur les parties les moins fertiles les plus dégradées de leurs parcelles. C'est ce qu'ils font en recourant à la pratique du parcage nocturne du bétail ou à celle d'un apport localisé de paille et de litière sur les parties les plus dégradées de leurs parcelles, pratique qu'ils appellent très justement le « pansement » du sol.

Ces pratiques ne sont pas les seules qui montrent que les agriculteurs du Sahel, conscients de la dégradation de leurs terres, sont capables de réagir et de trouver des solutions adaptées à leurs problèmes et à leurs moyens. Je voudrais citer deux autres pratiques qui témoignent de cette **résilience** des sociétés rurales sahéliennes.

La première est **la pratique du zaï** des paysans mossis au Burkina-Faso. Elle consiste à creuser des trous (10 à 40 cm. de diamètre, 10 à 15 cm. de profondeur) dans lesquels les agriculteurs

placent un peu de matière organique (poudrette de parc, fumier). L'amélioration de la structure du sol et la création d'un micro-impluvium augmentent l'infiltration des eaux de pluie, l'apport de m.o. permet un redémarrage de la vie biologique du sol et ainsi, sont créés des conditions favorables à la germination des graines de mil ou de sorgho déposées dans chaque trou.

La seconde est celle du **défrichement amélioré**, qui consiste à protéger un certain nombre de rejets naturels d'arbres ou d'arbustes dans les parcelles cultivées au lieu de les éliminer systématiquement comme on le faisait auparavant quand la ressource en bois était plus abondante et les sols plus fertiles.

Cette pratique de revégétalisation des terroirs villageois comme la pratique du zaï, sont des innovations endogènes qui sont entrain de se répandre dans des centaines de villages de différentes régions du Sahel. Leur impact sur l'environnement est tel que certains observateurs ont parlé d'un Sahel qui reverdit.

Cette **capacité de résilience** dont font preuve les sociétés rurales sahéniennes, face à la dégradation de leur environnement, ajouté au fait que, comme nous l'avons vu, il existe des voies et moyens d'améliorer très significativement la valorisation de l'eau en culture pluviale au Sahel, devrait nous permettre d'envisager pour cette région un avenir différent du scénario catastrophe qui leur est habituellement prédit.

En conclusion, je voudrais insister sur le fait qu'au Maghreb et plus encore au Sahel, **il existe de réelles possibilités d'améliorer la valorisation des eaux pluviales** et par voie de conséquence les rendements des cultures et la satisfaction des besoins alimentaires des populations qui vivent dans ces régions. Mais la question que l'on peut se poser est de savoir si les politiques publiques auxquelles sont contraints de se conformer les pays de ces régions sont adaptées pour valoriser un tel potentiel.

Références bibliographiques

Floret F., Pontanier R. 1984 – Aridité climatique, aridité édaphique. Bull. Bot. Fr., 131, Actual.Lot. 2/3/4 : 265-275.

Le Floch E., Grouzis M., Cornet A., Bille J-C – L'aridité : une contrainte au développement. Ed. ORSTOM, Paris, 1992.

Mouret J.C., Moreau S., Moize M., Berdaï J., Dosso M., Jouve P. – Les cultures sur épandage des eaux de crues : Un complément de ressource sous-estimé des systèmes oasiens. In Actes du symposium international sur le *Développement durable des systèmes oasiens* ; Erfoud, Maroc. INRA 2005.

Notes techniques du MAB 7 – Carte de la répartition mondiale des régions arides – Notice explicative UNESCO 1979

pour l'aridité méditerranéenne

El Behri A. – Diagnostic agronomique sur les contraintes aux rendements des céréales (blés, orge) en Haute Chaouia et Béni Meskine. Projet Chaouia II. Direction du Développement Rural, IAV Hassan II, Rabat, 1986.

El Brahli A., Bahri A., Mrabet R. – Résultats des essais d'introduction des techniques de conservation de l'eau chez les agriculteurs dans la région de la Chaouia (Maroc) *Actes des rencontres méditerranéennes sur le semis direct*. Settat, 22-23 Octobre 2001.

El Gharous M., Karrou M., El Mourid M. – Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. INRA MIAC. Rabat, 1984.

El Yamani A. - Amélioration et stabilité du rendement des céréales à travers la lutte contre les maladies au Maroc. in *Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc*. INRA-MIAC, 434-441, 1994.

El. Houata – Effet de la dose et du fractionnement de la fertilisation azotée sur le blé en zone semi-aride. Mémoire ENA Meknès. 1980.

- Ezzamiti M. – Effet du travail du sol sur l'économie de l'eau. Conséquences sur le rendement du blé tendre en zone semi-aride. Mémoire IAV Hassan II, 1980.
- Hallaire M. – Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. in *L'eau et la production végétale*. 27-72 INRA. 1963.
- Jouve P. – Adaptation des systèmes de production à l'aridité au Maroc et au Sahel. Thèse Université Paul Valéry, Montpellier, 1993.
- Jouve P. - Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride. *L'Agronomie Tropicale* 39-4, 308-316, 1984.
- Jouve P., Daoudi A.- Effets de la date de semis sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge en zones semi-arides et arides (cas du Maroc atlantique) *L'Agronomie Tropicale* 39-3, 216-227. 1984.
- Jouve P., Papy F. - Les systèmes de culture dans les zones semi-aride et aride du Maroc occidental. *Revue de Géographie du Maroc*. n° 7, nouvelle série ; 1983.
- Karrou M. El Mourid M. – Amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau des cultures en zones semi-arides du Maroc. in *Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc*. INRA-MIAC, 141-149, 1994.
- Karrou M., Chati M.T., Boutfirass M.– Developement strategies for water and rainfed agriculture in Morocco. in *Rainfed, irrigated and marginal drylands* Ed. Oweiss, Benli, Bruggeman, Farahani ICARDA, 2006.
- Lhaloui S. – In Morocco, IPM options increase wheat and chickpea yields. *Caravan ICARDA* 20-21 2004.
- Mrabet R. – Le semis direct : potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. CRRRA. INRA Settat. 2002.
- Papy F. – Analyse du comportement des cultures de blé dur et d'orge dans différentes régions céréalières du Maroc à travers leurs réactions aux variations inter annuelles ou régimes pluviométriques. C.R. Acad. Agric. Fr, séance du 31/01/1979, 231-247.
- Tanji, A., Karrou M. – Water use and water use efficiency of weeds and wheat in semi-arid Morocco. *Al Awamia* 78:29-43. 1992.

Pour l'aridité sahélienne

- Bationo A., Christianson C., Baetghen W., Mokwunye A. – A farm level evaluation of fertilizers use and planting density for pearl, millet production in Niger. IFDC Lomé. 1990.
- Chopart J.L., Nicou R. – Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. *L'Agronomie Tropicale*. 20, 7-28 . 1976.
- Chopart J.L., Nicou R. – Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. *L'Agronomie Tropicale*, 20, 7-28. 1976.
- Dugué P. - Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga (Burkina-Faso). Coll. DSA n° 9, CIRAD Montpellier. 1989.
- Garin P., Lericollais A. – Evolution des pratiques agricoles depuis 30 ans et leur adaptation à la sécheresse dans un village du Sine. DSA-ORSTOM. Montpellier. 1990.
- Joët A., Jouve P., Banoïn M. - Le défrichement amélioré au Sahel. Une pratique agroforestière adoptée par les paysans. *Bois et forêts des tropiques*, 255, 31-43. 1998.
- Jouve P. – La lutte contre la désertification en zone de culture pluviale. In *Lutte contre la désertification dans les projets de développement*. CSFD-AFD. 2002.
- Jouve P. – Transition agraire et résilience des sociétés rurales. Courrier de l'environnement de l'INRA.
- Kaboré W, - Usage des fumures organiques dans les systèmes de culture et viabilité des agro-systèmes en zone soudano-sahélienne : le cas du zaï dans le yatenga (Burkina Faso). Mémoire ESAT-CNERAC Montpellier. 2006.
- Le Gal P.Y. – Les systèmes de culture au sud du Département de Maradi. Analyse des pratiques culturales et de leur influence sur les rendements. Projet de Développement Rural de Maradi. 1986
n° 52 ; 2004.
- Nicou R. , Ouattara B., Some L. – Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina-Faso. *L'Agronomie Tropicale* , 45-1, 1990.
- Pérez P., Boscher C., Sene M. – Une meilleure gestion de l'eau pluviale par les techniques culturales (Sud du Siné Saloum, Sénégal). *Agriculture et développement* n° 9 – mars 1996

Pieri C. – *Fertilité des terres de savanes*. Cirad Montpellier. 1989.

Roesch M., Pichot J. – Utilisation du phosphate naturel de Tahoua en fumure de fond et en fumure d'entretien dans les sols sableux du Niger. Doc. IRAT, Montpellier ; 1984.

Roose E., Kaboré V., Guenat C. - Le zaï : une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso). In : *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* Pontanier, R., M'Hiri, A., Akrimi, N., Aronson, J., Le Floc'h, E., Paris : John Libbey Eurotext, p. 1995.

UICN – Etudes de l'UICN sur le Sahel. 1989.