

Stratégies de valorisation de l'eau dans les systèmes de culture pluviale en zones arides au Maroc

Jouve Ph.

Agronome, ancien Directeur scientifique du Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes, devenu Irc SupAgro Montpellier

Résumé

La faiblesse et l'irrégularité des précipitations et d'une façon générale des ressources hydrauliques constituent la contrainte majeure à l'exploitation agricole des zones arides qui occupent une grande partie des régions méditerranéennes et concernent près des deux tiers des terres cultivées du Maroc. Pour réduire cette contrainte il existe deux grands types de moyens: soit mobiliser ce qu'on appelle «l'eau bleue» l'eau stockée naturellement ou artificiellement pour pratiquer l'irrigation, soit valoriser «l'eau verte» c'est-à-dire les eaux pluviales en améliorant l'efficacité des pluies et l'efficacité de l'eau consommée par les cultures. C'est ce deuxième moyen que cette communication se propose d'analyser pour les zones arides du Maroc.

Cette analyse sera faite à partir des recherches menées en aridoculture par l'IAV Hassan II et l'INRA Maroc au cours des trois dernières décennies. De ce fait elle peut être considérée comme une sorte de bilan rétrospectif des recherches effectuées au cours de cette période qu'il peut être intéressant de confronter avec les orientations actuelles de la recherche en aridoculture. Mais cette communication a surtout comme objectif de présenter la stratégie de valorisation des eaux pluviales par les cultures qui avait été élaborée à partir de ces recherches.

Après avoir examiné les différentes voies possibles de la valorisation des eaux pluviales, les recherches de terrain ont mis en évidence l'importance d'assurer, par des semis plus précoces, un meilleur calage du cycle des cultures par rapport à la période des pluies. Mais cette modification du calage du cycle nécessite un changement de l'ensemble du système de culture en particulier en ce qui concerne le travail du sol et le contrôle des adventices. Par ailleurs cette nouvelle stratégie de culture entraîne également des changements dans les systèmes de production en ce qui concerne notamment le recours à la mécanisation.

Sur la base des résultats de ces recherches, une modélisation de l'efficacité des pluies a pu être établie qui a permis d'évaluer l'accroissement des rendements que l'on pouvait attendre de la mise en application de la stratégie préconisée en zone aride et semi-aride. Ensuite, grâce à des enquêtes de terrain ont été examinées les conditions concrètes de la mise en application de cette stratégie par les agriculteurs des zones arides.

Cette communication montre qu'il existe au Maroc comme dans l'ensemble du Maghreb une marge de progrès non négligeable en matière de valorisation de la ressource en eau pluviale et que les agriculteurs disposent désormais des savoirs et savoir-faire permettant cette valorisation sous réserve d'une politique de développement agricole adaptée à 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 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. Cette exigence est encore renforcée par le fait que la nature des sols influe sur les caractéristiques de l'aridité et qu'il faut donc considérer non seulement l'aridité climatique mais également l'aridité édaphique (Floret et Pontonnier, 1984) C'est pourquoi, dans cette communication, nous limiterons notre réflexion à l'aridité des régions méditerranéennes et plus particulièrement du Maghreb.

La faiblesse et l'irrégularité des précipitations et d'une façon générale des ressources hydrauliques constituent la contrainte majeure à l'exploitation agricole de ces régions. Pour réduire cette contrainte il existe deux grandes stratégies: mobiliser ce que l'on appelle «l'eau bleue» l'eau stockée naturellement ou artificiellement pour pratiquer l'irrigation ou valoriser «l'eau verte» c'est à dire les eaux pluviales, en améliorant leur efficacité et leur efficience en matière de production végétale. A l'échelle mondiale la première correspond à 40% des ressources en eaux mobilisables, la seconde 60%.⁷

L'irrigation est certainement le moyen le plus efficace pour réduire, partiellement ou totalement, le déficit hydrique des cultures en zones arides. Dès 6000 ans avant J.-C. ce moyen a été utilisé en Mésopotamie, berceau des grandes civilisations hydrauliques et depuis, l'irrigation s'est développée dans la plupart des régions arides. Ce développement a été particulièrement important au cours des quarante dernières années durant lesquelles la superficie irriguée dans le monde a doublé ce qui, grâce à la révolution verte, a contribué sensiblement à réduire la pauvreté et le déficit alimentaire de nombreux pays. Mais si l'on en croit les experts, de nombreuses raisons conduisent à penser que les perspectives d'extension de l'irrigation à l'échelle mondiale, dans les prochaines décennies, sont restreintes et dans les années à venir l'agriculture pluviale non irriguée devrait contribuer pour 47% de l'accroissement total de la production céréalière. Un constat du même type peut être fait pour le Maghreb et en particulier pour le Maroc qui à la suite de la politique très volontariste entreprise depuis les années 60, a mis en valeur la majeure partie du potentiel d'irrigation du pays. Ceci plaide en faveur de l'amélioration de l'efficience de «l'eau verte». C'est pourquoi dans cette communication nous examinerons surtout les voies et moyens de mieux valoriser les eaux pluviales.

Mais auparavant nous voudrions souligner qu'entre la culture irriguée et la culture pluviale il existe des formes intermédiaires de valorisation de l'eau. L'irrigation de complément à partir de l'exploitation de nappes phréatiques, qui permet de limiter partiellement le déficit hydrique des cultures en est une (Karou et al. 2006) la pratique des cultures de décrue en est une autre. Cette pratique largement méconnue et sous estimée intéresse pourtant de vastes superficies aux marges du Sahara et présente un potentiel de production pouvant être mis en valeur à un coût bien inférieur à celui de l'irrigation (Mouret et al.2005) Mais nous nous limiterons ici aux seules perspectives de l'agriculture pluviale en zone aride.

⁷ Rapport mondial sur le développement humain du PNUD 2006

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

Sur la base des recherches en aridoculture faites au Maghreb et plus particulièrement dans les plaines atlantiques du Maroc (El Baghati 1978, Jouve, Berrada 1979, Karou, El Gharous et al. 1994) ainsi qu'à partir de l'analyse des pratiques des agriculteurs (Jouve, Papy, 1983) il est possible d'établir un schéma général de valorisation des eaux de pluie dans ces zones. Ce schéma qui concerne surtout les céréales (blé tendre, blé dur et orge) cultures qui occupent près de 85% des superficies cultivées en zones arides, montre qu'il existe trois voies pour améliorer cette valorisation mais qui ne sont pas toutes de même importance.

Valorisation de l'eau en culture pluviale au Maghreb

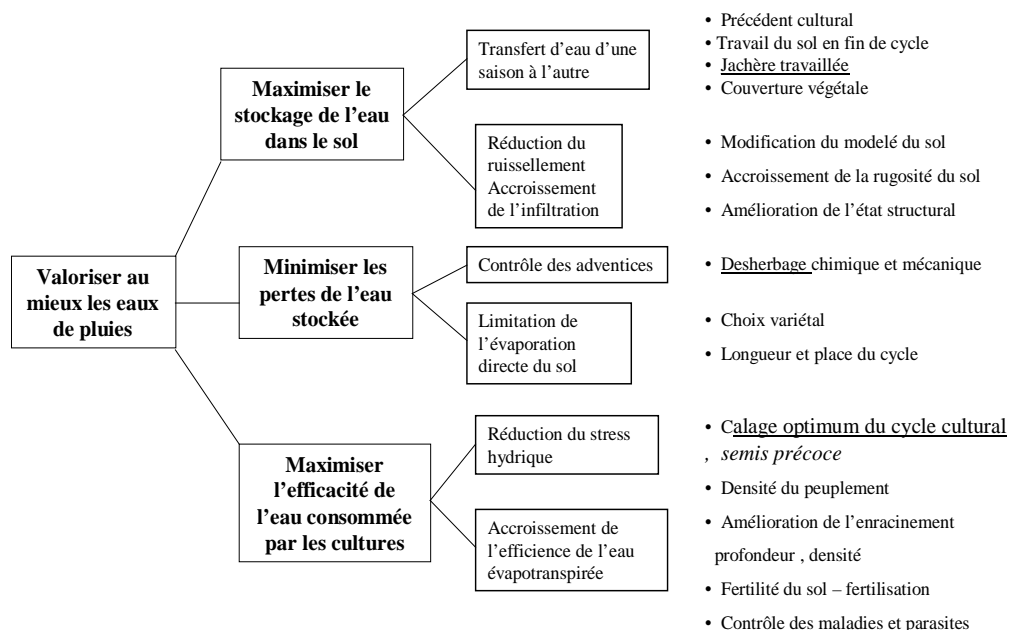


Fig. 1 - Schéma général de valorisation des eaux pluviales par les cultures au Maghreb

=> **La première consiste à maximiser le stockage de l'eau dans le sol.**

Plusieurs techniques peuvent concourir à cet objectif:

- La jachère travaillée. Cette technique pratiquée du temps de la colonisation vise à stocker une partie des précipitations tombant durant l'année de jachère pour la transférer à la campagne suivante et en faire bénéficier la culture qui y sera pratiquée (Jouve, 1985). Une telle technique nécessite, durant l'année de jachère, un travail du sol après chaque période pluvieuse afin d'empêcher le développement des adventices. Elle est donc coûteuse et requiert le recours à la

mécanisation. Par ailleurs deux conditions sont nécessaires pour garantir son efficacité: des sols suffisamment profonds pour stocker l'eau et une pluviométrie limitée au début de la campagne suivant la jachère pour ne pas saturer la réserve utile du sol et perdre le bénéfice du stockage préalable de l'eau. Ces conditions ajoutées au fait que l'on ne produit qu'une année sur deux, expliquent la très faible adoption de cette technique par les agriculteurs.

- La limitation du ruissellement. En climat méditerranéen les précipitations sont souvent de forte intensité (> 10 mm/jour). Chaque fois que celles-ci dépassent la capacité d'infiltration du sol, l'eau stagne sur le sol et si celui-ci est en pente l'eau ruisselle diminuant l'efficacité des pluies. Il existe différents moyens pour réduire les pertes d'eau par ruissellement:

- . Modifier la pente du sol par la création de terrasses, de banquettes ou en pratiquant des cultures en rideau.

- . Accroître la rugosité du sol par le travail du sol ou la modification du modelé superficiel des parcelles (billons, buttes etc.)

- . Améliorer l'état structural du sol en surface et en profondeur afin d'augmenter la vitesse d'infiltration de l'eau.

Quand les sols ont une topographie plane ou sub-horizontale, comme c'est le cas pour les plaines atlantiques du Maroc et que leur caractère calcaire leur confère une bonne stabilité structurale (Papy, Oussible, Jouve 1979) les essais de travail du sol préalable aux pluies visant à réduire le ruissellement et à favoriser l'infiltration des eaux de pluies ne mettent pas en évidence une amélioration significative de l'économie de l'eau (Ezzamiti M., 1980) Quand les agriculteurs pratiquent le travail du sol en sec c'est plutôt dans la perspective d'une installation plus précoce de leurs cultures.

=> La réduction des pertes directes de l'eau stockée dans le sol constitue la deuxième voie pour améliorer la valorisation des précipitations.

Une partie de l'eau stockée dans le sol n'est pas utilisée par les cultures du fait soit de percolations en profondeur, au-delà de la tranche de sol exploitée par les racines, soit de la concurrence de la végétation adventice soit enfin de l'évaporation directe du sol.

- Il n'est pas facile de réduire les pertes d'eau en profondeur, si ce n'est en cherchant à améliorer la profondeur d'enracinement des cultures quand celle-ci n'est pas limitée par des obstacles physiques (encroûtement calcaire dans les sols calcimagnésiques, substrat rocheux dans les lithosols)

- La réduction de la concurrence des mauvaises herbes est un objectif plus facilement réalisable et en même temps tout à fait prioritaire (Tanji, Karrou, 1992) Les paysans en sont bien convaincus qui combinent différents moyens pour assurer le contrôle des adventices: succession culturale, travail du sol, désherbage manuel et chimique. Mais l'efficacité de ce contrôle se heurte à plusieurs difficultés. La présence dans les rotations de jachère fourragère entraîne un fort salissement du sol d'autant que, pour assurer une bonne productivité de ces jachères qui jouent un rôle essentiel dans le calendrier fourrager des exploitations, les agriculteurs limitent parfois l'emploi d'herbicide sur les céréales précédant cette jachère. Cette pratique montre les contradictions qu'il peut y avoir entre production de grains et production fourragère dans la conduite des systèmes de culture en zone aride (Papy, Lelièvre 1979). L'autre difficulté provient du fait que la destruction des mauvaises herbes par le travail du sol ne peut se faire qu'après la levée de celles-ci et donc après l'arrivée des pluies retardant d'autant l'installation de la culture qui, comme on le verra par la suite, est assez pénalisant. En revanche l'utilisation d'herbicides ne présente pas cet inconvénient ce qui explique en partie son rapide développement ces dernières années.

- La limitation de l'évaporation directe du sol est un autre moyen de minimiser les pertes de

l'eau stockée dans le sol. Le travail du sol en cours de culture et en particulier les sarco-binages contribuent à cette limitation. Une autre technique qui fait l'objet d'expérimentation mais aussi de débats est le maintien d'une couverture végétale morte sur le sol pour, entre autres, réduire l'évaporation directe du sol (Mrabet, 2002). Mais cette pratique de la couverture, très répandue dans certaines zones tropicales (Brésil, Argentine..) entre en concurrence, au Maghreb, avec les autres usages des résidus de culture et de la biomasse disponible (paille), notamment pour l'alimentation des animaux.

- Maximiser l'efficacité de l'eau consommée par les cultures est la troisième voie pour mieux valoriser les eaux de pluie. L'objectif est ici d'améliorer le rapport entre la production utile et la quantité d'eau évapotranspirée par la culture.

Cet objectif peut être atteint de deux façons soit en réduisant le stress hydrique que l'aridité fait subir à la culture soit en améliorant l'efficacité de l'eau consommée.

La réduction du stress hydrique peut être obtenue de différentes façons:

- par la limitation de la densité de semis afin que le peuplement de la culture soit compatible avec des disponibilités limitées en eau. Les essais qui ont été faits sur céréales pour explorer cette possibilité n'ont pas été très concluants du fait de la forte capacité de tallage du blé mais surtout de l'orge et des possibilités de compensation entre composantes du rendement qu'elle permet (Chaffai 1978, Jouve, Berrada, 1979).

- par l'amélioration de la profondeur et de la densité d'enracinement qui peut être obtenue par un travail profond du sol. Ce moyen bien connu des agriculteurs des vallées pré sahariennes dont les cultures doivent supporter de longs intervalles entre irrigations, est beaucoup moins pratiqué en culture pluviale en zone aride du fait de son coût, du retard des semis qu'il entraîne et des pertes en eau lors du travail du sol.

Ce dernier moyen peut cependant accroître l'efficacité de l'eau évapotranspirée comme l'avait déjà montré les travaux d'Halaire (1963). Cette efficacité peut également être maximisée par:

- l'amélioration de l'alimentation minérale des cultures. Tous les apports de fertilisation de fond qui peuvent corriger des carences améliorent l'efficacité de l'eau consommée. En zone aride marocaine, l'effet d'un apport de phosphore, bien que variable suivant les conditions pluviométriques, est plus efficace que l'apport de potasse. Quant à l'intérêt d'apports d'azote, il est plus controversé du fait d'une part de la grande variabilité des précipitations qui rend aléatoire l'efficacité de ces apports d'autre part de l'équilibre à respecter en situation de déficit en eau entre la production végétative et la production de grains (El Houata, 1980).

- la lutte contre les maladies et ravageurs des cultures. Bien que l'aridité du climat limite en principe le développement de certaines maladies, notamment les helminthosporioses et les rouilles, la culture des céréales en zones aride et semi-aride n'est pas à l'abri de maladies et ravageurs des céréales qui affectent l'efficacité de l'eau évapotranspirée et réduisent le rendement final.

Parmi les premières, il faut citer les maladies cryptogamiques comme les septorioses (*Septoria tritici* et *nodorum*) qui s'attaquent au feuillage et diminuent la capacité photosynthétique du couvert végétal. Le stress hydrique favorise le développement de champignons du sol, notamment le *Fusarium culmorum*, qui provoque la pourriture des racines et du collet, entraînant une perte de pieds à la levée et une baisse de rendements en grains de 65% (El Yamani 1994).

Parmi les ravageurs, la cecidomyie (*Mayetiola destructor* Say.) est un des plus nocifs pour les blés en zones semi-aride et aride. Les pertes de rendements peuvent atteindre 40%. Les autres prédateurs pouvant provoquer des dégâts sur céréales sont les moineaux et les fourmis.

En conséquence toutes les techniques de lutte contre ces maladies et prédateurs ne peuvent qu'accroître l'efficacité de l'eau consommée.

Mais ce qui s'est avéré comme le plus déterminant pour accroître l'efficacité de l'eau consommée

par les cultures c'est l'amélioration du positionnement des cycles culturaux.

L'analyse des relations entre pluviométrie et rendements dans les zones aride et semi-aride du Maroc montre une forte corrélation entre pluviométrie et rendement des céréales (Papy 1979). Cette corrélation est moins forte en zone semi-aride du fait de l'importance de la variabilité inter saisonnière des pluies sur les rendements.

Il ressort de ces études que c'est le déficit cumulé au cours du cycle qui est la cause principale de la baisse des rendements en zones aride et semi-aride (Jouve 1984). Ceci étant si l'on analyse au cours de la campagne agricole l'évolution respective des précipitations et des besoins en eau des cultures on s'aperçoit que le déficit hydrique est quasi-systématique en fin de cycle. Il est évidemment plus précoce et plus intense en zone aride qu'en zone semi-aride. Il est également d'autant plus accusé que le cycle cultural est tardif et décalé vers l'été.

Or l'étude des pratiques des agriculteurs a montré que les semis des cultures d'automne peuvent s'étaler sur plus de deux mois et s'achever en décembre voire en janvier dans le cas de pluies tardives. Dans ces conditions l'hypothèse a été faite qu'une meilleure superposition du cycle des cultures sur la période des pluies par l'avancement de la date de semis, permettrait de réduire la durée et l'intensité du déficit hydrique et d'augmenter les rendements. Les expérimentations entreprises en milieu paysan ont permis de vérifier le bien fondé de cette hypothèse comme on peut le voir sur la figure ci-jointe.

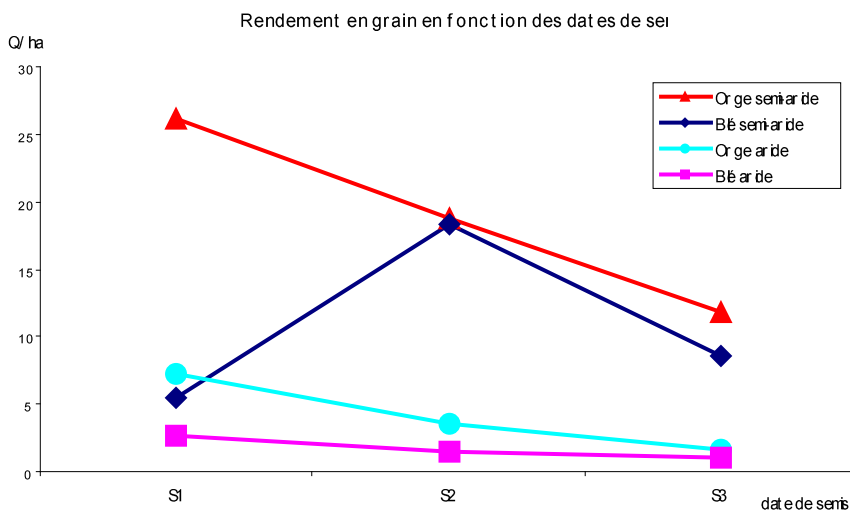


Fig. 2 – Effet de la date de semis sur le rendement du blé et de l'orge en zones semi-aride et aride

Ces résultats illustrent tout d'abord la forte différence de productivité entre zone semi-aride ($P=375$ mm) et zone aride ($P=240$ mm). Ils montrent que le retard de la date de semis entraîne une diminution significative du rendement de l'orge dans les deux zones alors que pour le blé, les semis précoces en zone semi-aride sont handicapés par l'attaque de prédateurs et la plus grande vulnérabilité vis à vis des adventices.

Notons au passage que ces résultats sont tout à fait conformes aux pratiques des agriculteurs qui sèment en zone semi-aride l'orge avant le blé ayant constaté que l'orge, grâce à sa plus grande capacité de tallage et à sa vigueur résiste plus que le blé aux prédateurs et à la concurrence

des adventices. Par contre en zone aride, ils s'efforcent de semer le plus tôt possible le blé comme l'orge afin d'atténuer le déficit hydrique en fin de cycle. Bel exemple de validation par l'expérimentation du savoir empirique des agriculteurs.

Il est également important de noter que ces résultats, obtenus à la fin des années 70, ont été ensuite confirmés par les expérimentations entreprises ensuite par le Centre de recherche en aridoculture de l'INRA à Settat au cours des années 80 et 90 (Karou, El Mourid, 1994).

2 - Définition d'une nouvelle stratégie de culture

Les interactions qui existent entre les différents moyens d'améliorer l'économie de l'eau en culture pluviale que nous venons d'examiner, montrent que plus que l'utilisation de telle ou telle technique prise isolément c'est l'ensemble de l'itinéraire technique qu'il faut considérer. Aussi, sur la base des connaissances acquises sur les systèmes de production et des résultats de recherche en aridoculture il a été possible de proposer une nouvelle stratégie de culture des céréales pour les zones aride et semi aride du Maroc qui, sous réserve de quelques ajustements, peut être étendue à bien des régions de la rive sud de la Méditerranée (Jouve, 1993). Cette stratégie 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.

Sur la base des essais de date de semis et à partir d'une simulation des rendements correspondants à des semis précoces dès l'arrivée des pluies, à des semis de saison après la levée des adventices et à des semis tardifs, au-delà du mois de décembre, on a pu évaluer les rendements moyens correspondant aux différentes positions de cycle résultant de ces trois dates de semis (Jouve, Daoudi 1984).

Zones	Semis			Rendement moyen
	précoce	de saison	tardif	
zone aride	8,4	6,8	3,7	6
zone semi-aride	14,45	14,67	7,7	9

Fig. 3 - Estimation des rendements céréaliers (q/ha) en fonction des dates de semis

Ces estimations font naturellement apparaître des rendements potentiels plus élevés en zone semi-aride qu'en zone aride. Ils montrent que les semis précoces sont d'autant plus avantageux que le climat est plus aride et que, quelle que soit l'aridité, les semis tardifs sont toujours nettement moins productifs.

Les conclusions que l'on peut tirer de ces résultats sont claires: 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, l'application d'une telle stratégie aurait permis d'augmenter de 27% les rendements des céréales en zone aride et de 62% en zone

semi-aride. Compte tenu des superficies cultivées dans ces deux zones (près de deux millions d'hectares) le surcroît de production a été estimé à 7 millions de quintaux (Jouve, 1984).

Les enquêtes de terrain ont mis en évidence deux raisons principales qui font que les agriculteurs étalent leurs semis. La première est l'insuffisance de leur équipement. En traction animale, qui était l'équipement de la majorité des exploitations jusqu'en 1980, on ne peut emblaver que 1/4 à 1/6 d'hectare par jour et donc l'ensemencement de 10 ha, compte tenu des jours disponibles, s'étale sur près de deux mois.

L'autre raison, déjà signalée, qui conduit les agriculteurs à décaler leurs semis par rapport au début de la saison des pluies est leur souci d'attendre la levée des mauvaises herbes afin de pouvoir les détruire avant l'installation des blés.

Il ressort de ces éléments que la mise en pratique de cette stratégie d'un meilleur calage des cycles de culture sur la période des pluies nécessite le recours à la mécanisation.

Mais le recours à la mécanisation ne doit pas avoir comme seul objectif une installation précoce des céréales, il doit aussi permettre d'améliorer la qualité du lit de semence grâce à une meilleure préparation du sol et d'assurer une levée plus régulière par l'emploi du semoir et si nécessaire du rouleau. Ceci étant les semis précoces présentent certains inconvénients: ils favorisent la concurrence des mauvaises herbes et le développement de maladies et parasites; c'est pourquoi les traitements herbicides constituent un corollaire indispensable à l'avancement des semis, de même qu'une plus grande vigilance vis à vis des ennemis des cultures.

On voit donc que cette nouvelle stratégie ne se limite pas à l'installation de la culture. En fait c'est tout l'itinéraire technique de la culture qui doit être modifié. En effet dès lors que le positionnement du cycle et l'obtention d'un peuplement homogène permettent une meilleure valorisation des eaux de pluies, il devient avantageux d'utiliser des engrais, particulièrement en zone semi-aride. Ces améliorations culturales étant réalisées, il est alors possible d'utiliser des variétés sélectionnées. Sans ces améliorations préalables de nombreux essais ont montré que ces variétés ne pouvaient exprimer leur potentiel, leurs performances n'étant pas supérieures aux variétés traditionnelles elles ne sont pas adoptées par les agriculteurs.

3 - Adoption et impact de cette stratégie de valorisation des eaux pluviales

Cette stratégie de culture ayant été élaborée à la fin des années 70, il est apparu intéressant d'examiner, avec le recul du temps, si elle avait été effectivement mise en œuvre et si elle avait eu un impact sur la production.

Pour cela on a d'abord étudié l'évolution de l'équipement des exploitations et leur degré de mécanisation qui, comme on l'a vu, constitue une des conditions essentielles de la nouvelle stratégie de culture. Les données figurant sur le tableau ci-joint montrent que de 1976 à 1990 l'utilisation des facteurs de production par les exploitations a augmenté de façon significative et qu'en particulier le taux de mécanisation, estimé sur la base d'un tracteur pour 100 ha, est passé de 12% à 27% en zone aride et de 36% à 60% en zone semi-aride.

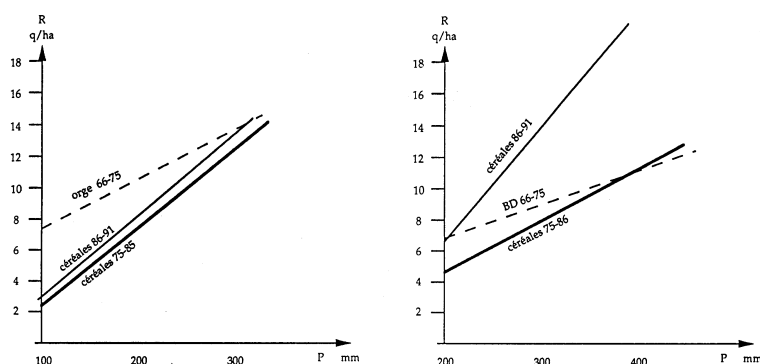
Zones	Semi-aride		Aride		Ensemble	
	1976	1990	1976	1990		
Taux d'utilisation de semences sélectionnées	BD	22%	-	6%	-	58%
kg d'engrais par hectare	BT	68%	-	19%	-	48%
Taux de mécanisation						
ha SAU : tracteur		277	16	851	377	
ha SAU : semoir		-	-	3429	2911	-

Fig. 4 - Evolution de l'utilisation des facteurs de production

Sources 1976 - Etudes des contraintes structurelles. Doc. Plan 1978-1982, MARA
 1990 - Objectifs de développement des zones arides. MARA-DPV, Janvier 1991

Dans le même temps on a observé une augmentation sensible des rendements des céréales. Cette augmentation est-elle à imputer à une amélioration des techniques de culture ou à une pluviométrie plus favorable ? Pour en juger nous avons comparé les droites de régression pluviométrie rendement des céréales calculées pour la période 75-86 avec la période 86-91. La pente de ces droites de régression traduit l'efficacité globale des précipitations. Or qu'est-ce qu'on observe entre les deux périodes ? Pour la zone semi-aride on note une modification de la pente de ces droites et un accroissement sensible de l'efficacité des pluies au cours de la dernière période. En revanche en zone aride, la pente des droites ne varie guère ce qui conduit à penser que l'efficacité des pluies n'a pas changé de façon significative.

Evolution de la relation pluviométrie-rendement des céréales au cours des vingt dernières années, en zones aride et semi-aride marocaines



Séries (1)	Zone aride			Zone semi-aride				
	\bar{P} mm	\bar{R} q/ha	r	Régression $R = aP + b$	\bar{P} mm	\bar{R} q/ha	r	Régression $R = aP + b$
1975-85 (11 ans)	203	7,41	0,82**	$R = 0,048 P - 2,4$	295	7,7	0,82**	$R = 0,031 P - 1,6$
1986-91 (6 ans)	219	8,78	0,75*	$R = 0,051 P - 2,3$	314	14,6	0,81**	$R = 0,07 P - 7,4$
Papy 1966-75	240	-	0,74*	$R = 0,03 P + 4,26$ (orge)	290	-	0,74*	$R = 0,02 P - 2,92$ (blé dur)

(1) Ensemble des céréales pour 1975-85 et 1986-91, orge en zone aride et blé dur en zone semi-aride pour 66-75

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

Comment interpréter de tels résultats ? En zone aride l'accroissement du parc de tracteurs constaté au cours de la décennie 80 a davantage servi à l'extension des cultures céréalières au détriment de jachère plutôt qu'à l'amélioration des techniques de culture. Les agriculteurs ont continué de privilégier une stratégie de culture extensive considérant que les aléas climatiques sont trop importants pour garantir la rentabilité des frais de culture supplémentaires (travail du sol en sec, engrais, semences sélectionnées) que nécessiterait l'intensification de leurs cultures.

En zone semi-aride, la forte augmentation des rendements céréaliers entre la période 75-86 et celle de 86 à 91, qui sont passés de 7,7 à 14,6 q/ha, est en grande partie imputable aux changements de mode de conduite des céréales comme le montre la modification de la droite de régression pluviométrie-rendement. Cette interprétation a été corroborée par des enquêtes de terrain faites en Chaouia, en zone semi-aride, qui ont montré que les agriculteurs ont modifié leurs itinéraires techniques: les préparations du sol sont devenues plus soignées, les semis plus précoces et l'utilisation des engrais et des semences sélectionnées s'est sensiblement accrue (El Behri, 1986).

Les recherches entreprises depuis au Centre d'aridoculture de l'INRA à Settat, sans remettre fondamentalement en cause la stratégie générale de valorisation des eaux pluviales en zone aride qui vient d'être présentée, ont permis d'en améliorer l'efficacité par l'utilisation de nouvelles variétés de céréales à cycle plus court et résistantes à la cécidomyie (Lhaloui S. 2004). Par ailleurs une alternative au travail du sol préalable à l'installation de la culture, basée sur l'emploi d'herbicides et d'une couverture végétale du sol permettant le semis direct, a fait l'objet d'expérimentations et elle est cours de vulgarisation. Ce nouveau mode d'installation des cultures dont la faisabilité pose un certain nombre de problèmes dont celui de l'équipement, présente l'intérêt de réduire les pertes directes en eau résultant du travail du sol et donc contribue à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau (El-Brahli et al. 2001).

En conclusion, les recherches entreprises en aridoculture au Maroc mais dont de nombreux résultats peuvent être étendus à l'ensemble du Maghreb, ont montré qu'il existe de réelles possibilités d'améliorer la valorisation de la ressource en eau pluviale et par voie de conséquence les rendements des cultures et ainsi de réduire le fort déficit céréalier qui caractérise la région. Cela suppose l'adoption de politiques agricoles qui facilitent l'accès, à l'ensemble des agriculteurs, aux facteurs de production nécessités par la mise en œuvre de la stratégie de culture proposée par la recherche pour valoriser un tel potentiel.

Références bibliographiques

- Chaffai A., 1978 – Comparaison d'itinéraires techniques pour la culture du blé en zone semi-aride. Mémoire Dpt. Agronomie IAV Hassan II. Rabat.
- El Baghati H., 1978 – Contribution à la recherche d'une problématique de céréaliculture en zone aride Mémoire Dpt Agronomie IAV Hassan II Rabat.
- El Behri A. 1986. 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.
- El Brahli A., Bahri A., Mrabet R. 2001 – 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. 1984. Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. INRA MIAC. Rabat.
- 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. 1980. 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.

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

Hallaire M. 1963. Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. In L'eau et la production végétale. 27-72 INRA.

Jouve P., Berrada A., 1979. Résultats d'expérimentations en aridoculture. Le Maroc Agricole n° 113, mars 1979, p. 20-24

Jouve P., 1985. – La lutte contre la sécheresse par les techniques culturales. Rev. Hommes, Terres, et Eaux. N° 52/53 sept.dec. 1985, Rabat p. 11-118.

Jouve P. 1993. Adaptation des systèmes de production à l'aridité au Maroc et au Sahel. Thèse Université Paul Valéry, Montpellier. Tome 1, 187p. Tome 2, 325p.

Jouve P. 1984. Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride. L'Agronomie Tropicale 39-4, 308-316.

Jouve P., Daoudi A. 1984. 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.

Jouve P., Papy F. 1983. Les systèmes de culture dans les zones semi-aride et aride du Maroc occidental. Revue de Géographie du Maroc. n° 7, nouvelle série.

Karrou M. El Mourid M. 1994. Amélioration de l'efficacité 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.

Karrou M., Chati M.T., Boutfirass M. 2006. Development strategies for water and rainfed agriculture in Morocco. in Rainfed, irrigated and marginal drylands Ed. Oweiss, Benli, Bruggeman, Farahani ICARDA.

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

Lhaloui S. 2004. In Morocco, IPM options increase wheat and chickpea yields. Caravan ICARDA 20-21.

Mouret J.C., Moreau S., Moize M., Berdaï J., Dosso M., Jouve P. 2005. – 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

Mrabet R. 2002. Le semis direct: potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. CRRRA. INRA Settat.

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

Papy F. 1979. 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.

Papy F., Lelièvre F., 1979 – Les pratiques de céréaliculture dans une région aride de type méditerranéen: la plaine de Benguerir – Rev. Geo. Maroc n° 3, 23-44.

Papy F., Oussible M., Jouve P. 1981 – Les contraintes pédoclimatiques à l'exploitation des zones semi-aride et aride du Maroc occidental. Rev. Geo. Maroc n° 5 P 121-133.

Tanji, A., Karrou M. 1992. Water use and water use efficiency of weeds and wheat in semi-arid Morocco. Al Awamia 78:29-43.