

OPTIMISATION DE L'UTILISATION DE L'EAU EN ZONE ARIDE MEDITERRANEENNE

Christian Floret
Roger Pontanier
Ahmed Souissi

Introduction

Les zones arides méditerranéennes qui reçoivent de 100 à 400 mm de pluie moyenne annuelle, couvrent de très grandes surfaces en Afrique du Nord. Elles sont caractérisées par une longue sécheresse estivale (4 à 6 mois) et une grande variabilité inter-annuelle. La végétation naturelle est de type steppique.

Les systèmes écologiques utilisés pour le parcours sont loin d'utiliser les quantités d'eau disponible de façon optimale. En effet, si l'on considère que 1 m³ d'eau peut produire de 1 à 4 kg de matière sèche (MS), avec 200 mm de pluie par exemple, on devrait obtenir de 2 à 8 tonnes de MS ha⁻¹ an⁻¹, si la pluie tombait à une période favorable sur des systèmes à végétation "performante". Or, en zone aride nord-africaine, on obtient en général des rendements inférieurs à 1 tonne (Floret et Pontanier, 1982; Le Houérou, 1984). La marge d'amélioration est donc grande, soit en jouant sur l'efficacité du matériel végétal, soit sur le stockage et la redistribution de l'eau de pluie pour les plantes, soit encore sur la disponibilité en éléments nutritifs. Par ailleurs, ces steppes ont été fréquemment défrichées pour la céréaliculture ou pour l'arboriculture, même dans les zones où la pluviosité moyenne annuelle est inférieure à 300 mm, valeur considérée comme limite pour la réussite d'une céréale par exemple. Des appoints d'eau sont donc à trouver pour la régularisation de ces productions agricoles. Cet article a pour objectif de donner quelques principes d'aménagement, pour ces zones arides, qui concourent à l'optimisation de l'utilisation de la pluie pour la production végétale. Les aspects socio-économiques de ces aménagements ne sont pas pris en compte.

Optimisation du matériel végétal

Optimiser l'utilisation de l'eau par la végétation consiste évidemment d'abord à limiter la part perdue par évaporation. Un couvert continu de végétation à la surface du sol n'est pas généralement possible dans les zones recevant 100 à 400 mm de pluie moyenne annuelle; le couvert des espèces pérennes dépasse rarement 30-40 %. Cette couverture diminue cependant la vitesse du vent à la surface du sol, la température de surface, de ce fait, permet de limiter l'évaporation. Des mesures effectuées en Tunisie, grâce auxquelles on a validé un modèle de simulation (Floret *et al.*, 1981) montrent que, lorsque le couvert végétal atteint 30 % en zone sableuse, la part de l'eau du sol perdue par évaporation sur l'ensemble de l'année avoisine 50 %. C'est vers cette valeur qu'il faut tendre, par régénération des espèces pérennes steppiques dans les zones dégradées, le couvert végétal favorisant par ailleurs l'infiltration sur place de l'eau des pluies. La végétation à base d'annuelles à cycle court des zones dégradées, laisse le sol à nu durant une grande partie de l'année et la part de l'évaporation peut être très forte. La régénération naturelle par protection de la végétation est assez rapide dans les zones sableuses; elle est plus lente ailleurs, surtout si les porte-graines se sont raréfiés.

Favoriser la pluri-stratification de la végétation permet aussi une meilleure utilisation de l'eau. Les faibles pluies sont facilement utilisées par les petites espèces pérennes et les annuelles, et l'eau qui s'infiltré, en profondeur lors des épisodes pluvieux importants, est reprise par les grandes espèces ligneuses qui peuvent ainsi croître jusqu'au début de l'été en épuisant cette eau profonde. On tend actuellement à essayer de réintroduire une strate arbustive qui devait exister autrefois. On trouve en effet encore quelques témoins de cette steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* et l'introduction d'*Acacia* (*A. cyanophylla*, *A. ligulata*, etc.) a été pratiquée avec plus ou moins de succès (Le Houérou et Pontanier, 1987). Il faut un certain appoint d'eau par ruissellement (dans les petits talwegs par exemple) pour que l'arbre s'installe et produise. Ces arbres peuvent parfois atteindre la nappe phréatique dans les vallées, et ils prennent alors de grandes dimensions. L'intérêt pratique d'une strate arbustive est de pouvoir disposer de réserves fourragères sur pied, durant la saison sèche ou les périodes de sécheresse.

En zone de pluie à régime méditerranéen, le maximum d'eau est disponible en hiver. Il faut donc chercher à installer ou à favoriser des espèces qui peuvent photosynthétiser à basse température. La plupart des espèces sont de type photo-synthétique C₃. Quelques espèces des steppes

poussent mieux que les autres en hiver et il faudrait les favoriser. On peut s'interroger sur l'efficacité du matériel végétal vis-à-vis de l'eau évapotranspirée : des résultats obtenus dans la zone à 100-200 mm de pluie moyenne annuelle (Floret et Pontanier, 1982) vont de 0,2 à 0,6 g de matière sèche par kg d'eau évapotranspirée, valeurs proches de celles obtenues dans les déserts américains (Szarex, 1979).

L'orge montre une bonne croissance en période froide et c'est une des raisons du défrichement des steppes, la céréale semée à l'automne, étant pâturée en vert si les pluies de printemps ne sont pas assez abondantes pour l'amener à maturité. Quelques espèces steppiques restent photosynthétiquement actives en été (arido-actives). Elles ont l'intérêt de permettre de proposer de la matière verte stockée sur pied aux animaux durant la période estivale, mais elles ne produisent pas durant cette période.

En plus de la majorité d'espèces de type C_3 , il reste quelques espèces de type d'origine tropicale (*Cenchrus ciliaris*, *Digitaria commutata*, etc.) qui ont une efficacité maximale lorsque les pluies sont précoces à l'automne ou tardives au printemps. Des études sont actuellement réalisées en Tunisie pour le semis de mélanges à base de ces graminées locales C_3 et C_4 , dans les zones dégradées, afin de reconstituer des steppes qui puissent produire malgré la grande variabilité de la distribution des pluies. Les populations des espèces steppiques montrent souvent une gamme d'individus adaptés à cette variabilité et la sélection sur le seul critère de la productivité peut être dangereuse. Les variétés de "populations" traditionnelles d'orge produiront plus régulièrement que des variétés sélectionnées à haut rendement. D'une façon générale aussi la grande diversité floristique des steppes nord-africaine d'espèces sur une station procure une certaine stabilité à la production pastorale. Il faut chercher à favoriser cette diversité.

Optimisation de la disponibilité en eau

Les communautés maghrébines vivant dans les zones arides du sud de la Méditerranée, ont essentiellement bâti leur civilisation agricole sur l'élevage et les cultures pluviales (céréales, oliviers, figuiers et vignes). La réussite de celles-ci était conditionnée par des techniques d'apport d'eau supplémentaire au champ (collecte d'eau à partir d'impluvium, dérives de cours d'eau, petites retenues, etc..) dont certaines relevaient d'une gestion collective (El Amami, 1983).

En l'absence d'utilisation continue et intensive de l'irrigation, l'agriculteur de ces zones arides n'a jamais pu faire disparaître totalement

le risque de voir ses récoltes anéanties par la sécheresse. Cependant, depuis très longtemps, il a toujours cherché à minimiser les variations interannuelles de la production végétale par des pratiques traditionnelles. Celles-ci, outre l'utilisation de cultivars rustiques mais peu productifs semés ou plantés à faible densité (partage de la ressource en eau), mettent en oeuvre différentes techniques de collecte et d'économie de l'eau (Pontanier et Souissi, 1988).

C'est peut-être au niveau de la maîtrise des eaux de surface qui se perdent par ruissellement ou par évaporation, que sa marge de manoeuvre est la plus importante. L'amélioration du statut hydrique des terres de ces régions est une des composantes fondamentales de l'aménagement. Aussi, il faut absolument chercher à limiter, capter, dériver les eaux de ruissellement sur le champ par des ouvrages de petite hydraulique agricole, à réduire l'évaporation et la concurrence des mauvaises herbes par des pratiques culturales, ou encore favoriser le stockage de l'eau en vue d'irrigation de complément (limitation du risque).

Par ailleurs, il est un principe à réadopter ou à conserver : en zone aride, une partie de la surface agricole, même "utile" doit être conservée pour "produire" l'eau de ruissellement qui sera utilisée sur des parcelles cultivées à l'aval (Thames et Fischer, 1981; Evenary *et al.*, 1971; National Academy of Sciences, 1977; Floret et Pontanier, 1982; El Amami, 1983, 1984). Or, ce principe actuellement est de moins en moins respecté en raison de la forte pression sur les terres.

La collecte de l'eau

L'objectif principal est de récupérer de grandes quantités d'eau produite par ruissellement et aussi de provoquer la création de nouveaux sols à partir des produits de l'érosion. En Tunisie, les pratiques visant à atteindre ces objectifs sont très anciennes. El Amami (1984) montre comment les agriculteurs en fonction de la zone climatique ont imaginé des systèmes de collecte de l'eau. Certains sont fortement menacés et même en voie de disparition. Deux de ces systèmes parmi les plus faciles à réhabiliter et à adapter sont présentés ci-dessous (Bonvallet, 1979, 1986; El Amami, 1984; M^r Timet, 1983 et 1987) :

1. Equipement des talwegs

De petits barrages, appelés généralement "jessours" sont disposés au travers d'une vallée, en montagne ou en piedmont. Un déversoir existe sur chacun d'eux; il permet d'éliminer le surplus d'eau lorsque le jessour est

plein. Une série de jessours, ainsi placés l'un au-dessous de l'autre, dans une vallée, ralentit la vitesse du ruissellement et favorise l'infiltration de l'eau. L'arboriculture est pratiquée derrière ces jessours où sont piégés les produits d'érosion (Fig. 1).

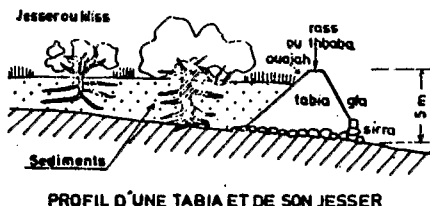
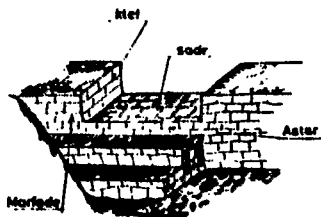
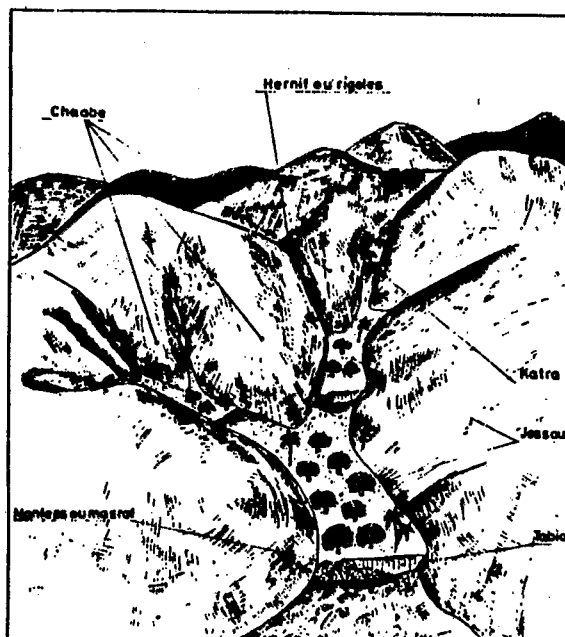


Fig. 1. Jessor et terminologie à Matmata Sud Tunisien (El Amami, 1984)

2. L'aménagement des glacis; l'agriculture d'impluvium

Sur les glacis, d'autres ouvrages sont construits pour ralentir le ruissellement, retenir l'eau et augmenter l'infiltration. La "tabia", levée de terre suivant la courbe de niveau, en est l'élément principal. Une partie de la surface sert d'aire de ruissellement (impluvium), et n'est pas cultivée.

Bourges *et al.* (1984) montrent dans la région de Gabès ($P = 180$ mm) sur un glacis limoneux présentant une pente de 2 % que pour espérer avoir un équivalent pluviométrique au champ (pluie + ruissellement) en année moyenne, de 250 mm, il faut un rapport entre aire de ruissellement (impluvium) et aire cultivée de 3,5 (Huynh van Nhan 1984). Cependant, on peut se poser la question : quel est l'agriculteur qui aujourd'hui acceptera de sacrifier une telle surface pour produire de l'eau? Les solutions consistent donc à utiliser au mieux l'eau des oueds qui débouchent des reliefs sus-jacents, en l'épandant sur les glacis grâce à des travaux de petite hydraulique d'adduction au champ (Nahal, 1975; Thames et Fisher, 1981; Bourges *et al.*, 1984).

Parmi les autres solutions on peut retenir celles qui visent à augmenter l'efficacité du ruissellement de certains impluviums : épierrage, destruction de la végétation naturelle manuellement ou chimiquement, compactage. Ainsi, Ehreler *et al.* (1978) ont travaillé dans la région de Phoenix (Arizona) sur la supplémentation en eau de Jojoba (*Simmondsia chinensis*) à partir de petits impluviums de 20 m² par plant. Ils montrent, pour une durée de l'expérimentation égale à 4 ans, que les parcelles non traitées (témoin) ont reçu en moyenne une quantité d'eau (pluie + ruissellement) de 154 mm. Sur les parcelles où les impluviums (runoff-collecting micro-catchments) ont été nettoyés, aplanis et compactés au rouleau, cette quantité d'eau s'élève à 435 mm, tandis que sur les impluviums imperméabilisés celle-ci atteint 876 mm.

Le travail du sol

Sur les zones suffisamment arrosées par les pluies ou supplémentées en eau de ruissellement, le travail du sol doit viser à augmenter l'absorption sur place des eaux pluviales (précipitées et/ou ruisselées), et limiter l'évaporation. L'accès, pratiquement généralisé des paysans de la zone aride, à la mécanisation a bien entendu intensifié les pratiques de travail du sol. Or, cette intensification a plus porté sur l'extension des surfaces cultivées que sur l'amélioration du profil cultural. Le résultat, à l'heure actuelle, est que de nombreuses terres de la zone aride se sont déstructurées, fragilisées et ont perdu une partie de leurs propriétés hydro-dynamiques.

A ce sujet, nous citerons Bahri *et al.* (1986) qui, à l'aide d'un simulateur de pluie ont appliqué une séquence d'averses, représentant une hauteur de 80 mm. Voulant montrer l'influence de différentes façons culturales pratiquées avant la saison des pluies (fin août) sur la recharge des réserves hydriques et sur l'érodabilité des terres, ceux-ci concluent que le labour profond avant la saison des pluies améliore de 90 % l'infiltrabilité des terres par rapport au témoin non travaillé, mais augmente leur sensibilité à l'érosion hydrique. En outre, ils montrent qu'il est préférable de laisser le sol non travaillé plutôt que d'effectuer un labour superficiel dans le sens de la pente, malgré le gain sur l'infiltration.

Ces essais, sans rejeter les principes de techniques préparatoires du sol sec, montrent bien que celles-ci sont d'emploi délicat, et que de toute façon, l'agriculteur n'investira que de façon parcimonieuse. Il préfère augmenter ses surfaces en travaillant légèrement, quitte à dégrader à moyen terme ses terres. Il faut en outre souligner que les différentes pratiques s'inspirant du "dry-farming" ne sont vraiment opérantes que pour les zones situées au-delà de 450 mm (Floret *et al.*, 1977). Enfin, les pratiques qui consistent à défricher ou à labourer en sec, pour séduisantes qu'elles soient, sont rarement adaptées aux moyens de tractions disponibles (Baldy, 1986).

Diminution de l'évaporation

Dans le domaine de l'agriculture pluviale pérenne, grâce à une parfaite maîtrise du calendrier des façons culturales, on entretient en surface un horizon de rupture de capillarité ("mulching"). Mais, ici encore le système doit être amélioré; en effet, ces façons indéfiniment répétées fragilisent à l'extrême le sol qui, dans certains cas voit la totalité ou au moins une partie importante des horizons supérieurs disparaître. Aussi, actuellement, ces pratiques qui ont donné satisfaction pendant plus d'un demi-siècle sont donc remises en question. Khatteli (1983), à l'occasion d'une étude en Djéffara tunisienne, propose une solution qui consiste à incorporer au sol un "mulch végétal" (résidu de culture, de taille, etc.) et à utiliser des outils à dents moins dégradants. En outre, toute solution qui consiste à augmenter la rugosité du paysage (brise-vent, murs de pierre sèche, cultures pérennes alternant avec des cultures annuelles), tout en diminuant la vélocité des vents et l'albédo, minimise de façon considérable l'évaporation et l'érosion (Baldy, 1986).

Discussions - Conclusions

En région aride, peut être plus que dans d'autres régions, il faut se préoccuper de l'aménagement pour une "production durable" sur le long terme. On assiste en Afrique du Nord, depuis quelques dizaines d'années à une augmentation globale de la production grâce au remplacement de la végétation naturelle par des cultures, mais en bien des endroits, il s'agit d'une agriculture "minière" qui détruit progressivement sols et semenciers naturels. Or, après dégradation, la remontée biologique est lente, avec des processus d'altération des roches-mères faibles en l'absence d'eau, avec croissance végétale souvent limitée et une reproduction des espèces aléatoire. Les perturbations qu'entraînent une intensification désordonnée des pratiques agricoles sont beaucoup moins "absorbées" par ce milieu qu'en zone plus humide.

Nous n'avons cependant que peu abordé ici ce problème de la conservation des sols et de la végétation pour le long terme, pour concentrer la réflexion sur la recherche d'une meilleure valorisation de l'eau rare et irrégulière. Les pratiques recommandées doivent cependant toujours s'examiner en regard des phénomènes d'érosion hydrique ou éolienne qu'elles peuvent provoquer.

Pour revenir à la recherche de la valorisation optimale de l'eau, il faut tout d'abord s'assurer du concours d'un matériel végétal très efficace.

La régénération de la végétation naturelle et son utilisation optimale par le parcours sont souvent à privilégier car ces écosystèmes pastoraux bien que peu stables au niveau de la production interannuelle qui est liée à la pluviosité, sont très résilients (Noy Meir, 1974). Ils sont bien adaptés pour résister aux sécheresses prolongées qui peuvent se produire. Ils sont en équilibre dynamique avec la perturbation temporaire que représente la sécheresse ou le surpâturage, et montrent un rééquilibrage progressif entre espèces après celle-ci. Il existe ainsi des cycles d'années au cours desquelles même l'espèce physionomique dominante peut être temporairement remplacée par une autre, sans que l'équilibre général de la communauté soit irréversiblement menacé. La composition floristique à un instant donné intègre des paramètres correspondant à des événements climatiques anciens et récents (Westoby, 1980; Bendali *et al.*, sous presse). C'est pourquoi les manipulations que l'on pourrait effectuer sur la végétation doivent être effectuées avec précaution. On peut être tenté de supprimer une espèce moins palatable ou moins efficace pour l'eau en ce qui concerne la production. Mais il pourra s'agir justement de l'espèce qui peut résister à

une perturbation donnée et occuper l'espace, tant que des espèces plus performantes mais plus fragiles n'ont pas effectué leur multiplication et leur réinstallation après perturbation.

Lorsque le système est trop dégradé, on peut imaginer réintroduire des espèces ou des mélanges d'espèces, complémentaires pour l'utilisation de l'eau, dont il faut s'assurer qu'ils sont relativement stables à long terme et reproductibles en présence d'animaux. A ce titre les espèces exotiques introduites sont peut-être parfois plus performantes en production que les espèces autochtones, mais elles sont en général moins bien armées pour le long terme, supportant mal par exemple une succession d'années sèches ou ne se reproduisant pas. C'est le cas par exemple d'*Acacia cyanophylla* et de la plupart des espèces d'*Atriplex* introduites qui ne peuvent être conduites que comme des "cultures" à durée de vie limitée.

• En ce qui concerne globalement l'utilisation de l'eau au niveau de la région, il faut évidemment chercher d'abord à réduire au maximum les pertes au niveau des oueds qui s'écoulent vers la mer, sauf si l'eau est volontairement laissée aux oueds pour l'alimentation de nappes d'inferoflux. On a donc un choix à faire entre transformation immédiate de l'eau de pluie en matière verte ou un report de l'utilisation de l'eau par stockage profond dans le sous-sol pour une exploitation ultérieure par l'irrigation. Ce dernier modèle est intéressant en climat méditerranéen aride où les pluies se produisent principalement en saison froide, alors que la température optimale de photosynthèse n'est atteinte que durant une faible partie de la journée.

Si l'on ne cherche pas à recharger les nappes, un autre modèle consiste à stocker l'eau dans le sol en favorisant l'infiltration dans la zone qui peut être atteinte par les racines. Ceci s'obtient : 1) soit en maintenant un bon couvert végétal sur l'ensemble de la zone, en limitant donc la pression pastorale pour éviter le surpâturage et la consommation de la litière par les animaux. Végétation et litière doivent être en particulier relativement importantes au début de la saison des pluies, au moment où les caractéristiques physiques des sols sont les plus défavorables pour l'infiltration des pluies (souvent orageuses); 2) soit en provoquant le ruissellement sur une partie de la surface pour une accumulation en des endroits privilégiés où la profondeur du sol est suffisante pour le stockage de l'eau excédentaire. C'est le modèle qui permet la meilleure économie de l'eau par limitation de l'évaporation, globalement, sur l'ensemble de la région. En effet, on limite le stockage de l'eau dans les horizons superficiels des sols, où les phénomènes de reprise de cette eau par le pouvoir

évaporant de l'air sont les plus intenses. L'eau stockée en profondeur peut être retraitée par le végétal plus tard dans la saison, en particulier à la fin du printemps, à une période où les conditions de température sont optimales pour la croissance. Les quantités d'eau stockées permettent alors de mener à bien des cultures qui demandent une quantité d'eau supérieure à la moyenne de la pluviosité de la région. On a ainsi un moyen de régulariser la production, d'augmenter la stabilité des écosystèmes ainsi supplémentés en eau par le ruissellement sur une partie du territoire. Plus on va vers des climats arides, plus la surface de l'impluvium stérile augmente par rapport aux écosystèmes productifs. C'est un modèle qui va continuer à se développer, involontairement par augmentation de la dégradation, ou même volontairement en favorisant le ruissellement et même l'érosion par différentes pratiques (épierrage, compactage, suppression du couvert végétal).

On arrivera ainsi à des petites zones "vertes" où la production pourra être intensifiée par de nouveaux cultivars et par des engrais, entourées de zones dénudées servant seulement d'impluvium. C'est un modèle relativement plus simple que les modèles actuels qui demandent une grande flexibilité afin de pallier les irrégularités de la pluviosité (ex. : pâturage des céréales en vert si l'année est sèche, transhumance de plus en plus difficile à pratiquer, compte tenu de la sédentarisation, fluctuation du nombre d'animaux selon la pluviosité, etc.). C'est aussi un modèle à coût socio-économique plus élevé, car les principaux intrants du système doivent être améliorés simultanément.

Bibliographie

- Bahri, A.A., B. Dridi et R. Pontanier.** 1986. Conséquences des façons culturales en fin de saison sèche sur le régime hydrique et l'érosion des terres du Kairouanais. Actes du Séminaire National sur les terres à céréales. 10-11 déc. 1986, Thibar (Tunisie), Direction des Sols, Tunis.
- Baldy, Ch.** 1986. Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 114 p.
- Bendali, F., C. Floret, E. Le Floc'h, R. Pontanier** (sous presse). The dynamics of vegetation and soil mobility in arid regions of Tunisia. *Journal of Arid Environments*.
- Bonvalloit, J.,** 1979. Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.* 16 (3), 233-245.

- Bonvalot, J.** 1986. Tabias et jessours du Sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. *Cah. ORSTOM, sér. Pédologie*, 22 (2), 163-171.
- Bourges, J., C. Floret, G. Girard, R. Pontanier.** 1984. Dynamique de l'eau sur un glacis du Sud tunisien (type Segui). ORSTOM, Tunis, CEPE/CNRS, Montpellier, multigr. 86 p.
- El Amami, S.** 1983. Une nouvelle conception des aménagements hydrauliques en Tunisie. *Impact : Science et Société*, 1: 61-68.
- El Amami, S.** 1984. Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. CRGR, Tunis. 69 p.
- Ehreler, V.L., D.H. Fink et S.T. Mitchell,** 1978. Growth and yield of Jojoba Plants in Native Stands using Runoff-Collecting Microcatchments. *Agronomy Journal*, 70: 1005-1009.
- Evernary, M., L. Shanan et N. Tadmor.** 1971. The Negev: The challenge of a Desert. Haward University Press, Cambridge, Massachusetts, 345 p.
- Floret, C., H.N. Le Houérou et R. Pontanier.** 1987. Risque climatique et aménagement. Comparaison entre les zones arides au Nord et au Sud du Sahara. *Actes Medecos V*, Montpellier, 15-21 juillet 1987.
- Floret, C., R. Pontanier.** 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, 150, Paris, 544 p.
- Floret, C., R. Pontanier et R. Rambal.** 1982. Measurement and modelling of primary production and water use in a South Tunisian steppe. *Journal of Arid Environments*, 5: 77-90.
- Huynh, van Nahn.** 1982. Utilisation des eaux de ruissellement dans le sud tunisien. Résultats pour la culture céréalière: Approche en milieu réel de production. Bulletin technique de l'IRA no. 2, Médenine-Tunisie, 106 p.
- Khatteli, H.** 1983. Recherches stationnelles sur la désertification dans la Djeffara (Tunisie). Dynamique de l'érosion éolienne. Thèse, Université Paris I, 218 p.
- Le Houérou, H.N.** 1984. Rain use efficiency: an unifying concept in arid land ecology: review. *Journal of Arid Environments*, 213-247.
- Le Houérou, H.N., R. Pontanier,** 1987. Les plantations sylvo-pastorales dans la zone aride de Tunisie. Notes techniques, MAB18. UNESCO, Paris, 81 p.
- M'Timet, A.,** 1983. Contribution à l'étude pédologique des limons des Matmatas. Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 183 p., + annexes, 7 cartes h.t.
- M'Timet, A.,** 1987. Evaluation de la sensibilité des sols arides à l'érosion hydrique. ES 240, Direction des Sols, Tunis, 51 p.
- National Academy of Sciences,** 1977. Expansion des ressources en eau dans les zones arides. Techniques prometteuses et possibilités de recherches, Washington, DC, 156 p.

- Noy-Meir, I.** 1974. Stability in arid ecosystems and the effects of man on it. Structure, functioning and management of ecosystems. *In* : Cove A.J. (ed.). Proceeding of the First International Congress of Ecology. The Hague, The Netherlands, Sept. 4-8, 1974, 220-225.
- Pontanier, R. et A. Souissi.** 1988. Pratiques agricoles et changement du régime hydrique des terres en zone aride méditerranéenne. Atelier sur l'agriculture et la transformation des terres dans le bassin méditerranéen. IAM Montpellier, 13-17 juin 1988. MAB-UNESCO Paris, CIEEAM Montpellier, Comité Français du Scope.
- Thames, J.L. et J.N. Fischer.** 1981. Management of water resources in arid lands. *In*: Goodall, D.V. and R.A. Perry (eds.) Arid Land Ecosystems. 2: 519-547.
- Westory, M.** 1980. Elements of a theory of vegetation dynamics in arid rangelands. *Israel Journal of Botany*, 28 : 169-194.
- Szarek, S.R.** 1979. Primary production in four north american deserts: indices of efficiency. *Journal of Arid. Environments.*, 2: 187-209.