

Le risque de désertisation en Tunisie présaharienne

Sa limitation par l'aménagement agro-pastoral

Christian FLORET *, Houcine KHATTALI **,
Édouard LE FLOCH *, Roger PONTANIER ***

PRÉAMBULE

Cette contribution a pour but de présenter les problèmes liés aux risques de désertisation, induits par les pratiques de l'agriculture et du pastoralisme dans les zones arides du Nord Sahara.

La notion du risque est dans ces régions présahariennes relativement complexe. On peut considérer qu'il existe tout d'abord, pour les productions végétales et animales, un aspect du risque, uniquement lié aux caractéristiques climatiques (en particulier celles de la pluviosité) et contre lequel l'homme ne peut se prémunir ; en effet on ne peut, actuellement, maîtriser les aléas de la pluviosité. Par ailleurs l'homme, dans son désir de lutter contre l'aridité et d'améliorer les potentialités agricoles de ces régions (arido-culture, irrigation, élevage, etc...), induit dans la majorité de ses interventions un risque de dégradation et de désertisation. Ce risque, lié en outre à l'extrême sensibilité (ou fragilité) du milieu, s'ajoute au précédent, constituant un ensemble que l'on se propose d'analyser.

En raison des nombreuses études qui y ont déjà été effectuées (LE HOUEROU, 1959, 1969 ; FLORET *et al.*, 1973, 1976, 1978 a et b, 1981, 1982, 1983 et 1984 ; Nations-Unies, 1977 ; KHATTALI, 1981 et 1983 a et b ; M'TIMET, 1983 ; HUYNH VAN NHAN, 1982, etc...), la Tunisie présaharienne a été choisie comme exemple, mais de nombreuses régions des autres pays nord-africains présentent les mêmes risques.

On s'efforcera donc, après avoir caractérisé cette région à haut risque climatique, de montrer comment les pratiques actuelles minimisent ou amplifient les nuisances d'origine climatique, de présenter quelques méthodes d'évaluation du risque de dégradation ou de désertisation, et de proposer quelques ébauches de solutions pratiques visant à réduire, ou du moins à stabiliser, les risques à un niveau acceptable par les populations.

* Phytocologue au CEPE Louis Emberger/CNRS, BP 5051, 34003 Montpellier cedex, France.

**Géomorphologue à l'Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie

***Pédologue, Mission ORSTOM, 18 avenue rue Charles Nicolle, 1002 Tunis-Belvédère, Tunisie.

1. PRÉSENTATION DE LA TUNISIE PRÉSAHARIENNE

La Tunisie présaharienne couvre environ 30 000 km². La hauteur annuelle moyenne des pluies est comprise entre 100 et 200 mm (fig. 1). Ces pluies, très irrégulières, tombent surtout durant la période froide ; la sécheresse, accentuée par des vents desséchants, est quasi absolue entre mai et septembre. Le régime thermique est très contrasté. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid (janvier) va de 4 à 7° C, celle des températures maximales du mois le plus chaud (juillet) de 32 à 36° C. Selon la classification d'EMBERGER la majeure partie de cette région se situe dans l'étage bioclimatique méditerranéen aride, sous-étage inférieur.

À ce climat correspond une végétation steppique très contrastée en raison des nombreux types de substrat présents, de la redistribution de l'eau de pluie par le ruissellement et de la pression plus ou moins forte de l'homme sur cette végétation (labour, surpâturage, etc...).

On assiste, depuis le début du xx^e siècle, à une profonde transformation du paysage dans le Sud tunisien qui résulte de l'augmentation de la population et de sa sédentarisation dans les villages offrant écoles, dispensaires, etc... Ces populations se fixent souvent sur les piedmonts des montagnes afin de bénéficier des eaux de ruissellement, ou bien à proximité des zones inondables afin de pratiquer des cultures vivrières de décrue.

Ces changements dans le mode d'habitat sont accompagnés de modifications affectant les systèmes fonciers et l'utilisation qualitative et quantitative des ressources naturelles de l'espace rural. L'utilisation passée (début du XX^e siècle) de cet espace était principalement représentée par l'élevage extensif (ovins, caprins) sur des pâturages collectifs et par une céréaliculture épisodique dans des zones traditionnelles bien adaptées. Ces populations pratiquaient alors une économie d'échange avec les habitants sédentaires des oasis afin de s'approvisionner en fruits, légumes et fourrages, qu'elles ne produisaient pas elles-mêmes ; elles assuraient leurs autres besoins par autoconsommation.

Ces transformations entraînent des modifications profondes du paysage et des « systèmes écologiques » du Sud tunisien. Les steppes, qui couvraient les sols des glacis limoneux au piedmont des montagnes, sont maintenant défrichées en totalité et l'érosion hydrique y est devenue importante. Les steppes des zones sableuses, très attractives pour la céréaliculture, voient chaque année de nouvelles surfaces défrichées, ce qui restreint d'autant plus les zones traditionnelles de pâturage. Ceci est d'autant plus grave que ces sols sont particulièrement sensibles à l'érosion éolienne. Cette dernière, s'ajoutant à l'érosion hydrique, conduit à une diminution globale de la capacité qu'ont ces sols à stocker l'eau de pluie qui ruisselle sur les terres ainsi dénudées, contribuant à grossir épisodiquement les oueds et à remplir les dépressions, voire à provoquer des inondations localisées catastrophiques.

Simultanément, la pression des animaux domestiques s'accroît sur les steppes à sols superficiels qui sont peu aptes à la mise en culture. Il y a diminution globale de la superficie des steppes pastorales en « bon état », au bénéfice de leurs stades de dégradation, dont certains ont atteint des seuils à partir desquels il est difficile d'imaginer une possibilité de reconstitution du couvert végétal. La gestion des ressources naturelles est alors déséquilibrée ; le prélèvement dépasse la capacité de renouvellement et les processus de désertisation sont engagés.

2. LA CARACTÉRISATION DU RISQUE EN AGRICULTURE

Le paysan et l'éleveur du Sud tunisien courent essentiellement deux types de risques :

a) un risque *annuellement répété* de voir des espérances de récoltes ou de production diminuées, voire même réduites à néant en raison du caractère aléatoire de la pluviosité.

b) un risque lié aux pratiques *à plus ou moins long terme, mais prévisible*, de voir certaines de ses spéculations fortement compromises en raison de la dégradation du milieu sur lequel ils opèrent.

2.1. Risque et pluviosité

L'eau, dans ces régions, est le principal facteur limitant de la production végétale. Si, dans l'ensemble, on peut dire qu'une bonne production est liée à une année pluviométrique favorable, il faut insister sur le fait que la précocité des pluies, le nombre et la répartition des jours de pluie au cours de la saison, l'intensité et la hauteur des averses, sont autant de variables à prendre en compte et à étudier pour caractériser le risque encouru, comme le montre le tableau I où est illustré un exemple de la variabilité des productions en fonction de la pluviosité de l'année.

TABLEAU I
Pluviosité et production d'un glacis limoneux en Tunisie présaharienne (« Ségui »)

	Précipitations (en mm)			Nombre annuel jours pluie	Product. past. d'une friche post-culturale en Kg mat.sèche par ha	Prod. Céréal. (orge) en Kg grains/t
	totales annuelles	infiltrées annuelles	totale printemps			
1972-73	163	141	55	29	360	530
1973-74	371	146	53	15	1051	821
1974-75	167	138	103	24	1039	non observé
1975-76	356	307	127	31	1779	1220
1976-77	96	94	35	14	50	0

Il n'est pas question ici de faire une analyse statistique de la pluviosité du Sud tunisien, mais on peut reprendre les principaux résultats de FLORET et PONTANIER (1982) concernant une étude sur la Tunisie présaharienne.

En outre, en l'absence d'aménagement permettant la maîtrise des eaux de surface, certains milieux courent le risque de perdre énormément d'eau par ruissellement, augmentant ainsi les nuisances de l'aridité ; ceci est encore plus accentué lors des années qui devraient être bonnes (fortes hauteurs annuelles). Ainsi, au cours des fortes averses, on assiste sur un territoire donné à la redistribution de l'eau qui est fonction de la nature des formes édaphiques et surtout des intensités pluviométriques. On appelle pluie efficace P_e , la quantité d'eau de pluie qui recharge les réserves en eau du sol ; c'est la partie infiltrée (FLORET et PONTANIER, 1984).

Le tableau II donne un exemple de ce risque de perte d'eau par ruissellement en fonction de l'intensité. On y observe en particulier pour deux très bonnes années (73/74 et 75/76) identiques sur le plan des hauteurs annuelles, des coefficients d'efficacité de la pluie $\frac{PE}{P}$ % respectivement de 40 % et de 86 %.

Cependant ce risque de perte d'eau n'est pas toujours un inconvénient dans les régions arides. Dans certaines situations c'est même un avantage que l'on utilise pour concentrer et mobiliser les eaux à des fins d'intensification de l'agriculture.

TABLEAU II
Pluviosité et pertes en eau par ruissellement sur un glacis limoneux de la région de Gabès
(in BOURGES *et al.*, 1984)

Période du 1/9 au 31/8	Hauteur de pluie précipitée (mm)	Perte en eau par ruissellement (mm)	Intensité maximale en 5 mn (mm/h)	Intensité maximale en 15 mn (mm/h)	Hauteur de pluie précipitée à une intensité moyenne supérieure à un seuil de		
					5 mm/h	12 mm/h	20 mm/h
1972-73	163	23	60	38	71	39	25
1973-74	371	225	144	106	279	242	242
1974-75	167	29	114	44	77	28	28
1975-76	356	49	42	24	62	31	0
1976-77	96	2	18	32	38	38	0

2.2. Pratiques culturales et risques de dégradation et de désertisation

Si les risques de sécheresse prolongée conduisent à court terme à des périodes de disette, le retour d'années plus favorables ne permettent pas toujours la remontée biologique du milieu naturel. En effet, les fluctuations périodiques de la pluviosité ont toujours existé, et elles ne peuvent expliquer seules la baisse actuelle générale des potentialités du milieu naturel en Tunisie présaharienne. La pression sans cesse croissante sur des terres utilisées sans discernement est à l'origine de la situation actuelle. « *C'est l'homme qui crée le désert, le climat n'est qu'une circonstance favorable* » (LE HOUEROU, 1969).

Le *pâturage excessif* provoque une réduction du couvert végétal et de la biomasse des espèces végétales présentes, associée à une raréfaction progressive des bonnes espèces pastorales et surtout des espèces annuelles et à un accroissement au moins relatif des espèces inaltérables (non pâturées).

La *mise en culture* a des effets beaucoup plus rapides et accentués, provoquant l'arrachage des espèces vivaces et la mise en mouvement des horizons superficiels du sol, essentiellement lors des labours à la charrue polydisque, pratique qui tend à se généraliser.

Quoique diffuse, l'*éradication et la cueillette des espèces ligneuses* est un phénomène dont la gravité est accentuée au voisinage des habitations où, à cause de la raréfaction de cette source d'énergie, elle s'exerce sur des végétaux de plus en plus petits et concerne également le système racinaire, anéantissant toute possibilité de régénération rapide de ces steppes.

LES PROCESSUS DE DÉGRADATION

En Tunisie présaharienne, lorsque la végétation n'est pas trop dégradée, il existe, quelle que soit l'époque de l'année, une végétation pérenne qui couvre au moins 20 à 40 % de la surface du sol. Ce couvert augmente fortement pendant les périodes pluvieuses grâce au développement des plantes annuelles. Cette végétation est suffisante pour protéger le sol de l'érosion éolienne et même pour provoquer, au pied des espèces pérennes, le dépôt de sédiments (minéraux ou organiques), conséquence des vents, souvent violents dans ces régions. Par ailleurs, la présence de ce couvert végétal à la surface du sol est un frein efficace au ruissellement et à l'érosion hydrique qu'il ralentit ; les systèmes racinaires favorisent, par ailleurs, la résistance mécanique du substrat et l'infiltration de l'eau.

Si, pour une raison ou une autre, le couvert végétal est détruit, la partie supérieure du sol est soumise à l'érosion éolienne et hydrique (cf. fig. 2). Les particules sableuses enlevées par le vent s'accumulent alors en des endroits privilégiés sous la forme primaire de voiles sableux puis de dunes vives stériles. Ce processus de déflation de la surface du sol se stabilise lorsqu'une couche plus compacte du sol est atteinte ; il reste alors à la surface du sol des éléments très grossiers (cailloux et graviers) et la partie supérieure des couches de sol les plus dures. Il en résulte que la pénétration de l'eau dans le sol est considérablement réduite. Les espèces pérennes qui ont résisté à ce processus ont du mal à survivre et, d'une façon générale, annuelles et pérennes ont du mal à germer. Sur ces surfaces « glacées » l'eau ruisselle facilement, provoquant l'apparition des processus d'érosion hydrique (formation de rigoles et de ravins) : *l'aridité s'accroît*. Tels sont en Tunisie les *processus physiques* dominants de la dégradation que risquent de subir les systèmes écologiques.

Le couvert végétal raréfié présente une surface foliaire diminuée pour la photosynthèse ; les systèmes racinaires exploitant des couches meubles du sol de plus en plus minces ne peuvent plus accumuler des réserves suffisantes à une bonne production (cf. tabl. III). La matière organique du sol disparaît ainsi qu'une partie des éléments nutritifs. Sous le climat aride, le facteur limitant de la production étant surtout l'eau, c'est la diminution de l'aptitude à emmagasiner l'eau utile à la production végétale qui peut être considérée comme l'un des critères les plus importants d'appréciation de la désertisation.

La baisse de la productivité biologique du milieu qui s'ensuit peut être irréversible à l'échelle d'une ou plusieurs générations, car sous ce climat aride la végétation spontanée montre un faible dynamisme, même après des mesures de protection et un aménagement rationnel.

Cependant on constate que les systèmes écologiques ne réagissent pas de la même manière selon leur *sensibilité* à ces processus et suivant *l'utilisation* qui en est faite par l'homme (FLORET *et al.*, 1976, 1981, 1982). Par ailleurs, *l'attractivité* qu'ils exercent pour les activités humaines n'est pas toujours équivalente.

Par contre, parallèlement aux processus de dégradation, il en existe d'autres qui conduisent, soit à la stabilisation du phénomène, soit parfois au renversement de cette tendance. Ce dynamisme, *cette vitesse de cicatrisation* de la végétation est très variable d'un système écologique à l'autre (FLORET, 1981), et dépend du temps et de l'intensité des pressions humaines ou animales.

Cependant, actuellement dans la zone concernée, les processus de dégradation sont plus rapides et importants que les phénomènes de régénération.

Toutes ces notions ont été utilisées pour évaluer et cartographier la

TABLEAU III

Valeurs moyennes du coefficient d'efficacité de la pluie annuelle $K_e \% = \frac{P_e}{P_t}$, de la réserve en eau utile (RU) et de la production de la végétation naturelle de quelques milieux de la Tunisie présaharienne pour la période 1969-1977.

Type de milieu	Etat de dégradation des sols et de la végétation	Recouvrement de la végétation naturelle en %	Production moyenne annuelle de la phytomasse aérienne en Kg ms/ha	Coefficient d'efficacité des précipitations en %	Réserve en eau utile moyenne (RU en mm)
Steppe des zones sableuses	en bon état	40	1000	100	130/150
	moyen, surface battante	20	650	95/85	100/ 80
	très dégradé, sol érodé et battant	10	490	80/70	60/ 40
Steppe des zones limoneuses (anciennes jachères)	en état moyen, surface battante	20	450	95/85	180/150
	très dégradée, sol érodé et battant	5	160	80/70	90/ 70
Steppe sur sols squelettiques gypseux	en bon état, léger recouvrement battant	15	450	70/50	50/ 30
	très dégradé, croûte affleurante	5	220	60/50	30/ 20
Steppe sur sols squelettiques calcaires	en bon état, léger recouvrement	20	750	90/80	80/ 60
	très dégradé, croûte affleurante	10	430	70/60	50/40

P_e = pluie infiltrée. P_t = pluie totale

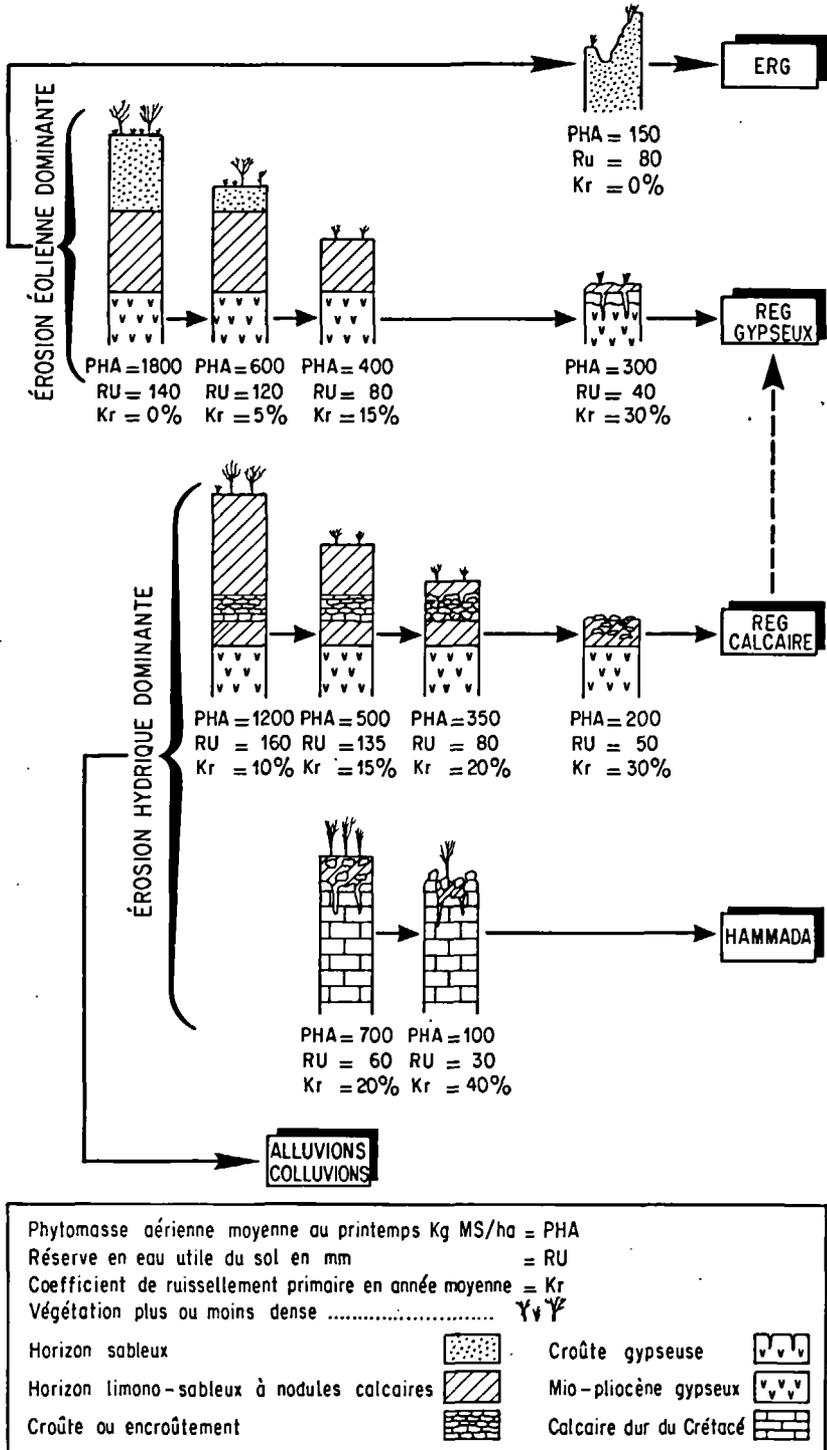


FIG. 2. — Exemples de dégradation des systèmes écologiques en Tunisie présaharienne (d'après Nations-Unies 1977 et FLORET-PONTANIER, 1981)

désertisation actuelle et les risques de désertisation future (FLORET *et al.*, 1976 ; Nations-Unies, 1977 ; KHATTALI, 1981, 1983 a et b).

3. QUELQUES SOLUTIONS POUR DIMINUER LES RISQUES

Principe : L'aménagement en zone aride doit s'appuyer sur la variabilité spatiale et temporelle des productions pour limiter les risques dus au climat. Types et modes d'exploitation du milieu doivent être choisis pour limiter les risques d'érosion.

3.1. Caractéristiques favorables du milieu

Les espèces végétales se sont remarquablement adaptées à la variabilité temporelle des précipitations. Elles réagissent très rapidement lorsque les conditions de l'environnement changent.

Cette adaptation porte surtout sur les mécanismes de la germination et de la résistance à la sécheresse. Les exemples sont nombreux : la germination n'a lieu qu'après une certaine quantité de pluie et pour certaines températures qui donnent des chances de survie à la plantule.

Les annuelles bouclent leur cycle en 2-3 mois ; les plantes à bulbe peuvent passer plusieurs années sèches sans produire de pousse ; les plantes ligneuses steppiques réduisent considérablement leur surface foliaire et perdent des quantités importantes de matériel végétal actif en été (dimorphisme saisonnier). EVENARI *et al.*, (1971) ont introduit à ce sujet les notions imagées d'espèces « arido-passives » (qui ne présentent pas de tissus photosynthétiques actifs durant la période sèche) et d'espèces « arido-actives » (qui doivent disposer de réserves d'eau pour fonctionner, même au ralenti). Ces dernières sont celles qui ont les caractères bien connus des vrais xérophytes (cuticule épaisse ; stomates rares et enfoncés ; tiges et pousses photosynthétiques ; feuilles petites, succulentes ou épineuses). Il ne faut pas oublier aussi que, *même si la pluviosité est faible, les précipitations tombent en majeure partie durant la période froide*, à un moment où l'évaporation n'est pas trop importante. L'efficacité de la pluie pour la production végétale est donc relativement plus importante qu'au Sud du Sahara.

La diversité des types biologiques (et des réponses adaptatives des végétaux) que l'on rencontre sur une même station avec une végétation en bon état, permet aussi de « tamponner » les conséquences défavorables de la variabilité climatique. *Les systèmes racinaires de ces végétaux se partagent le sol jusqu'à la profondeur habituellement atteinte par la pluie*. Les espèces annuelles et les petites espèces pérennes tirent parti des pluies fréquentes, même peu abondantes, et leurs racines, proches de la surface, surtout dans leur stade juvénile, sont en compétition pour l'eau avec le pouvoir évaporant de l'air.

Les espèces pérennes buissonnantes ont fréquemment une partie de leur système racinaire également dans les couches de surface, mais elles exploitent aussi les couches profondes qui s'humectent sporadiquement lors de gros épisodes pluvieux. Par ailleurs, on trouve, dans certains milieux, des espèces proches des Phréatophytes qui envoient leurs racines à de grandes profondeurs, jusqu'à la nappe, s'il elle existe. Cependant ce partage des ressources n'est peut-être pas à son optimum actuellement ; on peut en effet se demander si ce n'est pas l'homme qui a fait disparaître une strate arbustive claire susceptible de compléter l'utilisation de l'espace.

La diversité de ces types biologiques est sans doute le résultat d'une lente

adaptation. Elle permet, comme on l'a déjà signalé, l'étalement de la production dans l'année. Elle permet aussi l'utilisation conjointe de la végétation par des animaux à préférences alimentaires différentes tels que ovins, caprins, camelins, ce qui joue manifestement un rôle *synergique pour la production pastorale* globale d'une station donnée.

La plasticité des races locales d'animaux domestiques est un autre atout pour l'aménageur. En Tunisie présaharienne, les ovins de race barbarine, en particulier, peuvent supporter des pertes de poids considérables (ISMAÏL, 1984). C'est un caractère à favoriser par la sélection plutôt que de chercher à obtenir des animaux de gros formats, plus productifs en bonne année, ainsi que l'a souligné HADJEJ (1975).

La diversité des systèmes écologiques conduit à une variabilité spatiale importante et intéressante. Ce grand nombre des types de milieu sur une relativement petite surface doit être rapproché de plusieurs facteurs d'hétérogénéité : gradients climatiques rapides, diversité des roches-mères, mais surtout modalités de la redistribution de l'eau. L'eau est le facteur limitant pour les plantes sous climat aride. *La redistribution des faibles pluies, fonction des conditions topographiques, et le stockage de l'eau, fonction du type de sol, conduisent à une multitude de situations contrastées auxquelles se sont adaptés plantes, animaux et hommes.* La micro-hétérogénéité à la surface du sol (microtopographie, inégalité des dépôts), provoque une redistribution de l'eau par ruissellement ou infiltration différents, ce qui donne en général la possibilité à une partie au moins des espèces de germer et d'achever leur cycle, même si l'année présente un fort déficit de pluviosité. Cette diversité des systèmes écologiques est aussi un facteur favorable pour le pasteur qui peut conduire ses animaux sur des parcours à époques de production échelonnées : parcours à base d'annuelles de fin d'hiver et début du printemps des zones défrichées ; parcours de chaumes à la fin du printemps ; parcours de printemps et d'été des plaines sableuses ; parcours d'été des pelouses des bas-fonds alluviaux.

3.2. Pratiques agricoles pour limiter les risques liés au climat

De pasteurs nomades, qui utilisaient la production de la végétation naturelle quand et où elle se présentait, les habitants tendent à devenir agriculteurs sédentaires. D'une façon générale, *la culture aurait dû rester localisée dans les zones basses ou sur le piémont des montagnes* recevant un appoint d'eau par ruissellement ; les 100 à 200 mm de pluviosité moyenne annuelle ne permettent pas des rendements soutenus sans cet appoint. Or, on trouve maintenant des zones défrichées pour être soumises à la céréaliculture, donc sujettes à l'érosion, en plaine et même sur les collines. L'accroissement considérable de la population et l'apparition de nouveaux modes de vie (sédentarisation) ont donc conduit à s'écarter de la localisation optimale respective des cultures et des parcours qui était presque la règle dans un passé récent, à perdre la souplesse d'utilisation qui permettait l'adaptation à la variabilité spatiale et temporelle de la productivité biologique des différents milieux.

HOLLING (1973) souligne qu'un aménagement basé sur la flexibilité d'un système doit :

- 1) envisager beaucoup d'options possibles laissées ouvertes,
- 2) viser le niveau régional plutôt que le niveau local,
- 3) tirer parti de l'hétérogénéité de la région.

Donnons-en quelques exemples :

L'intégration de la céréaliculture et du parcours dans l'aménagement rural permet une *réponse flexible* pour la production en fonction de la pluviosité de l'année. Si l'année est bonne, la céréale est récoltée et les parcours suffisent aux animaux ; si l'année est sèche au printemps, la céréale en vert (qui a toujours un minimum de croissance hivernale) est pâturée avant maturité. C'est un système utilisé depuis fort longtemps par les populations locales.

Par ailleurs, *les céréaliculteurs peuvent répartir les risques* grâce à la diversité des systèmes écologiques. Nous avons observé et mesuré que les sables et les limons, par exemple, ne stockeront et ne redistribueront pas l'eau à la culture de la même façon, pour une même quantité de pluie.

La variabilité spatiale des précipitations doit amener à une réorganisation de la *transhumance* inter-régionale, comme c'était la règle autrefois ; les *échanges commerciaux* entre régions doivent être favorisés ; des dispositions doivent être prises pour permettre l'abattage des animaux et le stockage de la viande en cas de sécheresse prolongée.

La plantation d'arbustes fourragers, en tant que stratégie pour permettre d'échapper au risque d'absence de nourriture pour les troupeaux durant les périodes de sécheresse a été entreprise dans de nombreux pays, en particulier, sur la base d'*Opuntia ficus-indica*, *Atriplex* sp., *Acacia* sp., etc.

L'intégration des zones irriguées et des parcours devrait permettre une utilisation optimale de la production irrégulière de ces derniers et une stabilisation des effectifs des troupeaux grâce à la supplémentation en fourrages et grains. Jusqu'à présent, cependant la dégradation en auréole des parcours, autour des zones agricoles intensives, est presque la règle. Il faut donc encourager cette intégration par une certaine réglementation et par des mesures incitatives appropriées.

Une solution pour diminuer le risque de sécheresse pour une culture consiste en la *récupération des eaux de ruissellement provenant des systèmes dégradés et à leur concentration vers les systèmes les plus productifs*. C'est une pratique utilisée depuis longtemps en Tunisie et ailleurs (EVENARI, 1971 ; EL AMAMI et CHAABOUNI, 1980). Les techniques traditionnelles de concentration des eaux sont efficaces : petits barrages successifs disposés au travers d'une vallée qui ralentissent l'écoulement et favorisent l'infiltration (ainsi que le dépôt des matières en suspension) ; levées de terre sur les glacis qui permettent de récupérer les eaux de ruissellement. Une partie de la surface du glacis est donc réservée à la « collecte de l'eau » et une autre à la « production ».

3.3. Pratiques culturelles pour limiter les risques d'érosion

3.3.1. TECHNIQUES DE CULTURE

Dans un bref avenir on ne peut attendre des populations locales qu'elles abandonnent totalement les céréales qui occupent une place très importante dans leur ration alimentaire et qui, souvent, pour une même surface, conduisent à des profits supérieurs à ceux obtenus avec l'élevage. Il faut essayer de limiter la culture en zone sableuse et tout au moins d'utiliser des techniques appropriées pour éviter l'érosion.

FRYREAR (1983) présente une revue récente des techniques culturelles utilisées aux États-Unis pour limiter l'érosion éolienne : « résidus de culture déposés sur la surface du sol, réduction de la largeur des champs, augmentation de la rugosité du sol, utilisation de stabilisateurs de sols, concentration des efforts de contrôle de l'érosion durant les périodes critiques ».

Dans les régions arides d'Afrique du Nord, ce genre de techniques a été peu étudié. Des essais ont cependant été entrepris en Tunisie (KHATTALI, 1983) et sont encore en cours. Les premiers résultats figurent sur le tableau IV. Dans l'état actuel des connaissances, les pratiques culturales à préconiser sont les suivantes :

- écartier la charrue polydisque ou, à la limite, associer son utilisation, dans le cas où les agriculteurs acceptent un investissement, à l'apport de résidus de végétation spontanée (paille, Rhanterium, etc...) et ce, pour améliorer la rugosité du sol et à la longue son niveau trophique par décomposition de végétaux incorporés;
- remplacer la charrue polydisque par la déchaumeuse à socs ou, à la limite, un outil à dents;
- maintenir des bandes de végétation naturelle entre les bandes cultivées (des bandes de 5 m sont suffisantes);
- labourer perpendiculairement aux vents dominants actifs.

3.3.2. RÉGÉNÉRATION DE LA VÉGÉTATION

Dans les zones où les rendements céréaliers sont très aléatoires ou bien dans les zones sableuses à haut risque d'érosion, on doit tenter de provoquer une régénération du couvert végétal, protecteur du sol et producteur pour les animaux. Cette régénération peut s'obtenir par une protection totale plus ou moins longue ou bien par une diminution de la charge en animaux. Le semis d'espèces pastorales n'a, jusqu'à présent, pas été un succès en zone aride.

D'une façon générale, avec la protection, le couvert augmente mais les effets sont différents selon les milieux et les types de végétation qui leur correspondent.

La protection des steppes sur croûte gypseuse donne des résultats peu intéressants. En effet, ces croûtes ont été formées par ablation de l'horizon de surface. Les couches gypseuses de néogène ou géologiques durcissent rapidement lorsqu'elles sont exposées à la surface du sol. La formation de cette croûte empêche le retour de la steppe à son état initial avant dégradation. Même si le couvert végétal augmente un peu, les bonnes espèces pastorales ne peuvent se développer à nouveau.

Dans le cas des steppes sur glacis limoneux (steppes d'armoise blanche à l'origine), qui sont sporadiquement cultivées, la régénération est aussi très lente. Il se produit en surface une croûte de battance liée au développement d'algues, de champignons et de microcristaux de sels. Le sol se ferme et la germination d'espèces qui pourraient régénérer la steppe est difficile. Par ailleurs, les semenciers ont souvent disparu. Il faudrait ressemer mais les chances de réussite sont faibles et liées à une répartition favorable des pluies, ce qui ne se produit pas fréquemment.

Les steppes des zones sableuses sont celles qui « répondent » le mieux à la mise en défens. Les plantes pérennes qui ont été soumises au surpâturage montrent alors un bon développement, et en particulier les graminées, presque invisibles avant protection. D'une façon générale d'ailleurs, en zone sableuse ou à proximité de celles-ci, le sable en suspension se dépose préférentiellement au pied des espèces pérennes qui ont repris un bon développement aérien : la plante sert d'obstacle et freine le vent. La présence de ce dépôt de sable est un facteur favorable car il permet une meilleure germination des plantes annuelles, favorise l'infiltration et se comporte comme un *mulch* conduisant à un meilleur bilan hydrique.

TABLEAU IV

Bilans des pertes en sol et des rendements en orge obtenus en fonction de différents traitements (moyenne de 3 années) (Institut des Régions Arides, Médenine)

Traitements	Pertes en sol en mm/an	Pertes en sol en tonnes/ha	Rendements en orge quintaux / ha
Charrue polydisque	12,0	180	3
Charrue polydisque + paille épandue	1,2	18	5
Charrue polydisque + paille incorporée	2,1	31,5	4,9
Charrue polydisque + <i>Aristida pungens</i>	4,2	63	3,1
Charrue polydisque + <i>Rhantherium suaveolens</i>	2,4	36	3,1
Charrue polydisque + <i>Artemisia campestris</i>	3,5	52,5	3
Araire traditionnel	2,2	33	4,9
Déchaumeuse à socs	4,0	60	5,0
Sweep	3,0	45	1,2
Tiller	5,0	75	3,2
Chisel	5,0	75	2,2
Tiller + paille incorporée	2,0	30	5,9
Bandes de végétation naturelle de <i>Rhantherium</i> larges 5 m + polydisque	5,0	75	4,5
Bandes de 5m + tiller	3,5	52,5	5,0
Bandes de 10m + tiller	3,5	52,5	5,0
Bandes de 10m + polydisque	5	75	4,9

Sur ces bases, il est souvent difficile de donner des recommandations pratiques sur une durée optimale de protection pour la régénération de la végétation en zone aride. Cette durée dépend beaucoup de la quantité de pluie qui suit la protection et des conditions locales, telles que l'état initial de la végétation, la proximité d'une « source de sable » (c'est-à-dire d'une zone fréquemment cultivée), la présence de semenciers d'espèces intéressantes, etc...

Plutôt qu'une mise en défense totale, une régénération par allègement de la charge est souvent préférable. D'une part les animaux brisent la croûte de battance et, d'autre part, évitent la constitution d'une fraction ligneuse trop importante chez les plantes.

3.4. L'aménagement régional pour diminuer les risques

L'application de ces principes et de ces méthodes doit conduire à proposer des scénarios d'aménagement permettant de diminuer les risques liés à la culture. Un modèle de simulation simple, basé sur l'utilisation des matrices de transition (USHER, 1969), nous a permis de prévoir le devenir des surfaces occupées par les différents types de milieu, des ressources régionales ainsi que les risques de dégradation et de désertisation des milieux, compte tenu des divers scénarios d'utilisation de l'espace rural (FLORET *et al.*, 1981).

À titre d'exemple nous montrons le résultat d'une simulation pour une étude régionale portant sur 80 000 ha environ dans le Sud tunisien. C'est une prospective sur 25 ans à partir de l'état initial de la zone, qui prend en compte trois scénarios :

1) Maintien du système actuel, avec surpâturage, défrichement des zones sableuses pour la culture, et céréaliculture mal localisée.

2) Localisation optimale des cultures sur les terres les plus aptes à produire des céréales ou dans les zones ayant atteint un point de dégradation tel qu'il n'est pas possible d'envisager une régénération à moyen terme du pâturage. Les parcours existants ne sont plus défrichés.

3) Élimination des cultures des zones sableuses qui retournent au parcours. On intensifie les cultures dans les zones recevant des appoints d'eau par ruissellement. On réalise un *aménagement pastoral* comprenant un équilibre de la charge avec la production pastorale et la création de réserves fourragères.

Le tableau V donne l'état actuel de la zone en ce qui concerne l'occupation des terres, les surfaces désertisées, les productions, ainsi que les résultats des simulations au bout d'une période de 25 ans pour les trois scénarios. On voit, en particulier, que « l'aménagement pastoral » diminue fortement les risques de désertisation puisque les surfaces désertisées augmentent de 17 % dans le cas des deux autres scénarios.

CONCLUSIONS

Actuellement, on assiste sur l'ensemble de la Tunisie à une augmentation des surfaces cultivées ; en revanche, il est tout à fait illusoire de compter sur une réduction des effectifs des troupeaux qui vont continuer de dégrader des surfaces pastorales de plus en plus restreintes. Il semble que l'on évolue à moyen terme vers un élevage de type sédentaire et nourri de plus en plus avec les produits et sous-produits des cultures (chaumes, son, grains, fourrages), les parcours n'étant plus guère qu'un faible appoint. Cette évolution ira sans doute de pair avec une amélioration de techniques d'utilisation des eaux de ruissellement.

Après une période durant laquelle le risque de dégradation passera par un maximum, on peut s'attendre, grâce à une meilleure maîtrise des eaux de surface (collecte et redistribution) et à l'amélioration des techniques, à une certaine réduction, puis stabilisation, des deux types de risques déjà évoqués

TABLEAU V
Effets comparés de deux scénarios d'aménagement de l'espace rural en vue de limiter les risques de désertisation

	(Situation prévisible au terme de 25 ans)			
	Etat actuel (1975)	Maintien du système actuel (témoin)	Aménagement	
			Localisation optimale des cultures	Aménagement pastoral
<u>Occupation des terres :</u>				
.Surface totale des parcours (en ha)	50.300	44.800	46.000	58.700
.Surface des parcours en bon état (en ha)	17.100	12.300	17.300	37.000
.Surface des parcours dégradés (en ha)	33.200	32.500	28.700	21.700
.Surface réservée à la culture (en ha)	30.900	36.400	35.200	22.500
. Surface désertisée (en ha)	6.000	7.100	7.000	6.000
<u>Eau du sol</u>				
Coefficient de ruissellement primaire moyen en année très pluvieuse (Z)	37,0	38,0	33,0	31,0
Réserve moyenne en eau utile des sols de la région (en mm)	111	108	109	115
<u>Production</u>				
Productions (en année à pluviosité moyenne) :				
. Phytomasse aérienne totale des plantes pérennes (en tonnes de Mat. sèche)	42.000	36.000	40.000	54.000
. Evaluation de la production primaire nette de la végétation (parcours + jachères) (en tonnes de mat. sèche/an)	34.000	30.000	33.000	46.000
. Evaluation de la production pastorale consommable par les animaux (en milliers d'U.F. par an)*	6.600	5.700	5.900	9.100
. Production céréalière (en tonnes de grains récoltés par an)	6.000	7.200	7.200	7.200

* La production consommable : partie de la végétation produite pouvant être consommée par les animaux (cf. notions d'accessibilité et d'appétabilité). Elle représente la quasi totalité de la production primaire nette pour les espèces annuelles et 60% environ pour les espèces pérennes.

(risque dû à la variabilité des pluies et risque lié aux pratiques culturales). Le paysage apparaîtra, encore plus que maintenant, fait « d'oasis » de verdure, où une agriculture moderne devra se développer (choix des cultivars, engrais, etc...), entourées de grandes zones dénudées.

Mais, pourquoi accepter cette stérilisation de la majeure partie de la surface utile, même si l'élevage prenait proportionnellement moins d'importance que par le passé? Pour lutter contre cette tendance, l'aménagement devra s'appuyer sur des bases écologiques avec, comme lignes directrices :

— l'inventaire des ressources et l'étude approfondie de leurs dynamiques, afin de localiser au mieux les spéculations et de déterminer de façon optimale les niveaux d'utilisation ;

— la prise en considération du moyen et du long terme, même si on cherche à maximiser dans l'immédiat les productions ;

— l'utilisation des avantages que procure l'hétérogénéité du milieu pour obtenir des productions diversifiées ; cette diversité est le meilleur atout pour lutter contre l'aridité climatique ; elle permet de « tamponner » l'aridité générale ;

— l'ouverture de la région vers l'extérieur afin d'augmenter la flexibilité des systèmes productifs en favorisant les échanges de biens, de services et de personnes.

La méthode d'évaluation des risques proposée, outre la connaissance nécessaire des aléas climatiques, met l'accent sur l'importance de l'évaluation de la dynamique de la dégradation ou de la régénération des milieux (sol et végétation) et de l'évolution de l'occupation des terres. Il ne s'agit pas ici de proposer des plans d'aménagement complets qui devraient prendre en compte bien d'autres paramètres, socio-économiques en particulier. Il s'agit seulement, grâce à une réflexion sur des scénarios contrastés, de permettre à l'aménageur de juger des conséquences de certains choix.

BIBLIOGRAPHIE

- BOURGES (J.), FLORET (C.), GIRARD (G.), PONTANIER (R.), 1984. - Dynamique de l'eau sur un glacis du Sud tunisien (type segi). DS, IRA, DRE Tunisie, CEPE/CNRS Montpellier, ORSTOM, Tunisie 86 p.
- EL AMAMI (S.), CHAABOUNI (Z.), 1980. — Les aménagements hydrauliques traditionnels (Meskats et jessours), moyens de lutte contre l'érosion. Séminaire national sur l'érosion. Sidi Thabet, juin 1980. Centre Génie Rural Tunisien. 7 p. *mimeo*.
- EVENARI (M.), SCHANAN (L.) & TADMOR (N.), 1971. — The Negev : The Challenge of a Desert. Cambridge Mass Harvard Univ. Press. 345 p.
- FERSI (M.) & ZANTE (P.), 1980. — Pluviométrie, bilan hydrique, érosion sur un toposéquence type du Sud tunisien. Djebel Dissa. Synthèse 1972-1977. ES 184 Direction des sols Tunis. 131 p. *mimeo*.
- FLORET (C.) (1981). - The effects of protection on steppic vegetation of the mediterranean arid zone of Southern Tunisia. Symposium « Dynamique de la végétation dans les formations méditerranéennes ligneuses ». Montpellier 15-20 sept. 1980. *Vegetatio* 46 : 117-129.
- FLORET (C.) & LE FLOC'H (E.) avec la collaboration de ROMANE (F.) Lepart (J.) & David (P.), 1973. — Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie présaharienne. Conséquences pour la planification de l'aménagement régional de la zone-test d'Oglat Merte Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie et Centre d'Étude Phytosociologiques et Écologiques Montpellier n° 71 /45 p. 6 cartes noir, 4 cartes couleur.
- FLORET (C.), LE FLOC'H (E.) & PONTANIER (R.), 1976. — Carte de la sensibilité, à la désertisation en Tunisie centrale et méridionale (Processus de dégradation en cours des sols et de la végétation). *Sols de Tunisie*, 8 : 1-6 1 carte h.t. couleur, échelle 1/1000 000.
- FLORET (C.), LE FLOC'H (E.), PONTANIER (R.) & ROMANE (F.), 1978 a. — Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement agropastoral des régions arides. Application à la région de Zougrata. *Inst. Rég. Zone Arides, Médenine, Dir. Ress. Eau et Sol, Tunis. Doc. techi.* n° 2, p. 74, 1 carte h.t.
- FLORET (C.), LE FLOC'H (E.), PONTANIER (R.) & ROMANE (F.) 1978 b. — Simulation of the impact of différents levels of human pressure on the grazing lands of Southern Tunisia. *Proceedings of the International Rangelands Congress August 14-18, 1978, Denver, Colorado*, 52-54.
- FLORET (C.), LE FLOC'H (E.), PONTANIER (R.) & ROMANE (F.), 1981. — Dynamique de systèmes écologiques de la zone aride. Application à l'aménagement sur des bases écologiques d'une zone de la Tunisie présaharienne. *Acta Oecologica. Oecol. Applic.*, 2 (3) : 195-214.

- FLORET (C.), LE FLOC'H (E.), PONTANIER (R.), 1983. — Phytomasse et production végétale en Tunisie présaharienne. *Acta Oecologica Oecol. Plant.* 1983 Vol. 4 (18) n° 2 : 133-152.
- FLORET (C.) & PONTANIER (R.) 1982. — L'aridité en Tunisie présaharienne. *Trav. et doc. ORSTOM*, Paris, n° 150 : 544 p.
- FLORET (C.) & PONTANIER (R.) 1984. — Aridité climatique, aridité édaphique. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 131, *Act. bot.*, (2/3/4) : 265-275.
- FRYREAR (D. W.), 1983. — Wind erosion in the United States of America. International Seminar on Wind Erosion. Djerba. Institut des Régions Arides, Tunisie, 40 p. *mimeo*.
- HADJEL (M.S.), 1975. — Les aspects zootechniques de l'élevage milieu pastoral dans le Centre-Sud tunisien. Réunion régionale pour la formulation de programmes coopératifs de recherches, de formation et d'aménagement sur le pâturage des zones arides du Nord de l'Afrique (Sfax). *Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie*, 5 p. *mimeo*.
- HOLLING (C. S.), 1973. — Resilience and stability of ecological systems. *Ann. rev. Ecol. et Syst.* 4 : 1-23.
- HUYNH VAN NHAN, 1982. — Utilisation des eaux de ruissellement dans le Sud tunisien. Résultats pour la culture céréalière. *Bull. Tech. de l'IRA* n° 2. Médenine, Tunisie.
- ISMAIL (M.), 1984. — Contribution à l'étude des paramètres de l'élevage ovin extensif des régions arides du Sud tunisien. *These Doct. Ing. Agronomic option Zootechnique ENSA Montpellier*, 167 p.
- KHATTALI (H.), 1981. — Recherches stationnelles sur la désertification dans la Djefara (Tunisie). Dynamique de l'érosion éolienne. Thème 3^e cycle Univ. Paris 1/IRA Médenine, 218 p.
- KHATTALI (H.), 1983 (a). — Contribution à l'étude de l'érosion éolienne dans la Djefara tunisienne (sa dynamique dans les terrains, cultures et parcours). *Bulletin technique de l'IRA* n° 3, Médenine, Tunisie.
- KHATTALI (H.), 1983 (b). — Contribution à l'étude de la dynamique des dunes dans le parcours du Sud tunisien. Station Rouag. Internat. Seminar on Wind Erosion, Djerba. Institut des Régions Arides. Tunisie 8 p. *Mimeo*.
- LE HOUEROU (H. N.), 1959. — Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. *Inst. Rech. Sah. Alger*. Mémoire h.s. 510 p.
- LE HOUEROU (H. N.), 1969. — Végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Libye). *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie*, 42, 5, 622 p.
- LE HOUEROU (H. N.), 1970. — North Africa : Past., Present, Futur. Arid lands in Transition. *American Association for the Advancement of Science* : 277-278.
- LE HOUEROU (H. N.), 1977. — Biological recovery versus desertization. *Economic geography*, 53 (4) : 413-420.
- M'TIMET (A.), 1983. — Contribution à l'étude pédologique des limons des Matmatas Sud tunisien. Thèse 3^e cycle Paris VI. Direction des Sols, Tunis E. n° 590.
- Nations-Unies, 1977. — Étude de cas sur la désertification. Région d'Oglat Merteba. Conférence des Nations Unies sur la Désertification. Naibori Doc. A/Conf. 74/12, 143 p. 1 carte couleur (anglais et français).
- NOVIKOFF (G.), 1983. — Résultats préliminaires sur les travaux de lutte contre l'érosion éolienne dans les terres cultivées en céréales de la Djefara tunisienne. International Seminar on Wind Erosion, Djerba. Inst. des Régions Arides, Tunisie 12 p. *mimeo*.
- NOVIKOFF (G.) & SKOURI (M.), 1981. — Balancing Development and Conservation in Pre-Saharan Tunisia. *Ambio* X, 2-3 : 135-141.
- NOY-MEIR (I.) 1974. — Stability in arid exosystems and the effects of man on it. In : Cové A. J. (Ed.) Structure Functioning and management of Ecosystems. Proc. of the First International Congress of Ecology : 220-225 Wageningen ; Pudoc.
- USCHER (M. B.), 1969. — A matrix model for forest management *Biometrics*, 25, 2 : 309-315.
- VIETS (F. G.) Jr., 1962. — Fertilisers and efficient use of water. *Advances Agron.*, 14 : 223-265.