

Dynamique de systèmes écologiques de la zone aride

Application à l'aménagement sur des bases écologiques d'une zone de la Tunisie présaharienne

[C. Floret, E. Le Floch, F. Romane]

Écologues au C. E. P. E. Emberger,

C. N. R. S., route de Mende, B. P. 5051, 34033 Montpellier Cedex

R. Pontanier (PONTAN)

Pédologue à l'O. R. S. T. O. M., 24, rue Bayard, 75008 Paris

RÉSUMÉ

Cet article met particulièrement l'accent sur la dynamique de la végétation et des sols de la zone aride méditerranéenne qui évolue très rapidement sous l'influence du défrichement des steppes par la céréaliculture et en raison du surpâturage; 22 "systèmes écologiques" d'une zone représentative de la Tunisie présaharienne ont été caractérisés en détail. Leur productivité en fonction des pluies prévisibles a été mesurée ou estimée. La cartographie permet alors d'évaluer et de localiser les ressources renouvelables dans leur état actuel. On a étudié particulièrement les relations entre les systèmes écologiques, les possibilités et les vitesses de passage d'un système à un autre par dégradation ou régénération. Un modèle de simulation simple, basé sur l'utilisation des "matrices de transition" permet de prévoir le devenir des surfaces occupées par les différents systèmes, donc des ressources régionales, compte tenu de diverses hypothèses de l'utilisation de l'espace rural. Les principes généraux qui doivent guider l'aménageur en zone aride méditerranéenne sont également évoqués.

MOTS-CLÉS : Systèmes écologiques - Dynamique - Zone aride - Aménagement - Tunisie.

SUMMARY

This article emphasizes the vegetation and soils dynamics of the mediterranean arid zone which actually shows an important evolution on account of the development of the clearing of steppic grazing lands for cereal farming, and of overgrazing; 22 "ecological systems" of a representative area in the presaharian Tunisia have been carefully characterized. Their productivity according to the foreseeable rainfall have been measured or estimated. A map gives the possibility to evaluate and localize the actual renewable resources. One has studied in details the links between the different ecological systems and the possibilities and the speed of transition from one system to another, through either degradation or regeneration. A simple simulation model based on the use of "transition matrix" provides the possibility of foreseeing the evolution of the areas occupied by the different systems, and of the resources during the next decades, according to several hypotheses of land use. The general principles to be applied for management of these mediterranean arid zones are also given.

KEY-WORDS: Ecological systems - Dynamics - Arid zone - Management - Tunisia.

1. OBJECTIFS ET CADRE DE L'ÉTUDE

L'objet de cet article est de présenter une synthèse de mesures et observations effectuées pendant plusieurs années dans une vingtaine d'unités de milieu de la zone

méditerranéenne aride tunisienne ⁽¹⁾. Dans cette étude, on a mis particulièrement l'accent sur la dynamique de la végétation, des sols, et des usages qu'en fait l'homme. Cette synthèse peut être résumée dans un modèle de simulation simple qui prend en compte et conduit à proposer diverses décisions d'aménagement. Par ailleurs, on a cherché à présenter les principes d'aménagement sur des bases écologiques qui devraient prévaloir pour le développement rural de la zone présaharienne du Nord de l'Afrique.

En effet, on assiste à une profonde transformation du paysage dans le Sud tunisien depuis le début du xx^e siècle qui résulte de l'augmentation de la population et de sa sédentarisation dans des 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 auto-consommation.

Actuellement, du fait de la sédentarisation et de l'appropriation des terres, on assiste à un développement de l'arboriculture et des jardins au voisinage des habitations; des ouvrages d'hydraulique de surface permettent, par utilisation des eaux de ruissellement en général assez bien maîtrisées, de cultiver, sous forme de vergers, oliviers, amandiers et figuiers, ainsi que les principales cultures vivrières nécessaires à la famille. D'autre part, la céréaliculture tend à se développer considérablement grâce aux facilités offertes par la mécanisation, ce qui est à l'origine du défrichement d'importantes surfaces de steppes pastorales. Ces phénomènes sont favorisés par une démographie explosive et par le désir d'appropriation du sol; en effet, la terre initialement collective, revient aujourd'hui de droit à celui qui la cultive durant plusieurs années.

De plus, la sédentarisation des populations a conduit à la disparition ou à l'éclatement de beaucoup de grands troupeaux nomades qui ont été remplacés par de petites unités de moins de 50 têtes qui pâturent presque toute l'année au voisinage immédiat des lieux d'habitation ou des villages, favorisant ainsi un surpâturage accéléré des parcours.

Tous ces changements entraînent des modifications profondes du paysage et des « systèmes écologiques » du Sud tunisien. Les steppes, qui couvraient les sols

(¹) Les résultats produits dans cet article sont extraits d'une série de rapports et publications, cités en références, réalisés dans le cadre d'un projet interdisciplinaire et interinstitutionnel, incité par le Gouvernement tunisien. Les principaux organismes participants sont l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie, l'Institut des Régions Arides de Tunisie, la Direction des Ressources en Eau et en Sol de Tunisie, la Direction des Forêts de Tunisie, la F. A. O., l'UNESCO, le Centre National de la Recherche Scientifique (France) et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (France).

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 sont actuellement les plus attractives pour la céréaliculture et, chaque année, de nouvelles surfaces sont cultivées, ce qui restreint d'autant les zones traditionnelles de pâturage. Ceci est d'autant plus grave que ces sols sont particulièrement sensibles à l'érosion éolienne qui réduit progressivement l'épaisseur des horizons sableux superficiels et provoque la formation de dunes. L'érosion éolienne 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, ce qui contribue à grossir épisodiquement les oueds et 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, soit à cause de la présence de croûtes calcaires ou gypseuses, soit pour des raisons oro-topographiques (montagnes calcaires). Le couvert végétal y régresse et, dans une première phase, les bonnes espèces ligneuses (chaméphytes, nanophanérophytes) sont arrachées pour les besoins en bois de chauffage ou de cuisson des aliments des populations. Il y a donc une 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 annuel dépasse la capacité de renouvellement.

Il faut signaler, par ailleurs, que la population rurale n'arrive à satisfaire ses besoins, en constante augmentation, que grâce aux revenus issus de l'émigration à l'étranger d'une part importante de la population active ainsi que grâce aux revenus produits par des ruraux qui travaillent dans les secteurs urbains et industriels en Tunisie.

2. MÉTHODE

L'approche que nous présentons ici a été testée sur la zone dite de Zougrata qui peut être considérée comme représentative de la région des « Basses plaines méridionales orientales » et de la région de la « Djefara », soit environ 2 millions d'hectares. Dans le présent paragraphe, seront dégagées les principales étapes de la démarche et ce n'est qu'après (§ 3) que seront présentés la zone-test elle-même, les 22 types de systèmes écologiques retenus, ainsi que le mode actuel d'utilisation des terres (fig. 2).

2.1. LE DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE

Les principes généraux de la méthode mise en œuvre sont ceux du diagnostic écologique appliqué au développement de l'espace rural (LONG, 1974 et 1975) qui s'intéresse entre autres :

— à la nature et à l'état des ressources renouvelables, par exemple : inventaire et cartographie des ressources végétales et animales, liées aux ressources en eaux et en terres ;

— aux potentialités biologiques des divers milieux présents dans l'espace considéré : mesure ou évaluation des productions actuelles et potentielles, détermination des usages possibles de la végétation spontanée et cultivée ;

— aux niveaux de sensibilité des différents milieux : études, en terme de stabilité, de capacité de régénération, des seuils de dégradation, des réponses des milieux soumis aux impacts des activités humaines.

2.2. ZONAGE ET CARACTÉRISATION DE SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES

Parmi les niveaux d'organisation de l'écosphère, le système écologique — ou écosystème ⁽¹⁾ au sens de TANSLEY (1935) — est un concept qui a été largement utilisé comme unité élémentaire pour les études écologiques, ainsi que l'avaient préconisé EVANS (1956) ou ODUM (1959). Si l'on considère l'aménagement comme une opération qui consiste à manipuler les facteurs qui contrôlent le système, les aménageurs ruraux ont eux aussi souvent implicitement ou explicitement (DYKSTERHUIS, 1958; LEWIS, 1969, par exemple) utilisé cette notion, à différentes échelles.

Dans notre étude, la démarche consiste à subdiviser une région écologique homogène, en secteurs écologiques, puis en systèmes écologiques.

La zone retenue, à relief peu diversifié, est homogène sur le plan macroclimatique et peut être considérée comme une « région écologique ».

Ce sont alors « les secteurs écologiques » (MANIL, 1963; LONG, 1974-1975) qui fournissent les éléments d'un premier zonage; ces secteurs représentent ou « intègrent » :

- les principales unités morphologiques et formations superficielles (ex. glacis gypseux, plaine alluviale sableuse, bassin versant, etc.);
- les climats locaux (ex. exposition dominante, couloir de vent, etc.);
- les séquences de végétation (GODRON et POISSONET, 1972), ou les grands types de sa physiologie (ex. steppes à *Rhantherium suaveolens*).

Pour chaque secteur écologique un zonage de deuxième ordre est effectué, l'intégrateur étant alors le « système écologique ». Pour cette subdivision, les critères pris en compte (isolément ou simultanément) sont les modes actuels d'utilisation des terres (ex. pâturage, céréaliculture, etc.), l'état de dégradation de la végétation (groupements végétaux de la séquence), certaines caractéristiques des sols (état de dégradation, caractères physico-hydriques, etc.). Il est bien évident que toutes les variables biotiques et abiotiques ne peuvent être prises simultanément en compte pour l'individualisation de ces systèmes écologiques et que, selon le système concerné, telles ou telles variables sont privilégiées, compte tenu de l'objectif à atteindre qui est ici l'aménagement agro-pastoral. Le nombre et l'état de ces variables est donc volontairement limité de façon à obtenir par leurs combinaisons, un nombre restreint de systèmes écologiques, néanmoins représentatifs, au niveau de perception écologique retenu (région, secteur), de la distribution réelle et actuelle des principaux systèmes.

Cette approche à caractère écosystémique est à distinguer de certaines autres qui considèrent comme intégrateur privilégié, soit la végétation seule, soit la géomorphologie, soit encore le sol. En fait, parmi les intégrateurs, il est souvent efficace d'avoir recours à celui qui donne la réponse la plus aisée à interpréter.

Les systèmes écologiques retenus sont étudiés d'une manière plus ou moins approfondie selon l'intérêt que l'on porte à leurs productions ou selon leur importance spatiale. Cependant, toutes les unités cartographiées sur la zone-test de Zougrata (carte à l'échelle 1/50 000) ont fait l'objet de relevés de végétation et de sol, réalisés sur le terrain (listes floristiques, couvert végétal des espèces dominantes, état de dégradation, nature, texture, profondeur des sols, etc.). Pour certaines de ces unités, des mesures complémentaires ont été faites; elles concernent la phytomasse aérienne, les caractéristiques physico-hydriques des sols. Pour les systèmes écologiques qui couvrent les plus grandes surfaces dans la région (une dizaine), des stations permanentes de mesure ont été installées. On y a notamment mesuré l'évolution de la phytomasse aérienne sur pied au cours de plusieurs années, en relation avec les conditions climatiques et hydriques du sol (FLORET et PONTANIER, 1978). Des mesures et des estimations de rendement, ainsi que des enquêtes d'intérêt plus général, ont été réalisées dans les milieux cultivés.

(1) N'ayant pas nous-même étudié dans le détail le fonctionnement des « écosystèmes » de la zone aride et, par ailleurs, ce terme étant actuellement utilisé dans des sens et à des échelles très différents, nous avons préféré utiliser celui de « système écologique ».

2.3. PRISE EN COMPTE DE LA DYNAMIQUE

Les aspects dynamiques (dégradation, érosion, régénération) jouent aussi un rôle prépondérant dans cette représentation simplifiée de l'hétérogénéité de l'espace rural. Un système écologique est ainsi caractérisé par sa végétation, par son sol, par l'utilisation qui en est faite par l'homme, par sa « sensibilité » eu égard aux pratiques culturelles et aux agents de l'érosion et, en outre, par ses relations avec les autres systèmes écologiques, en d'autres termes par ses aptitudes à évoluer.

L'identification et la représentation des systèmes écologiques, tels que nous les avons définis ci-dessus, correspondent donc à la mise en œuvre d'une approche globale et dynamique qui s'efforce de considérer des unités représentatives de la plupart des ressources naturelles de l'espace rural (végétation, sol, eau, productions, population humaine, etc.), ainsi que leurs possibilités d'évolution.

On peut s'interroger sur la possibilité de mettre l'accent sur la dynamique de ces systèmes pour des études écologiques en vue de l'aménagement. En effet, de nombreux auteurs ont souligné la faible dynamique naturelle de la végétation en zone aride (LE HOUÉROU, 1969, par exemple). SHREVE (1942), cité par WAGNER (1976), a même conclu que l'on ne pouvait parler de successions (ou de séquences) puisque le faible développement de la végétation ne permettait pas une influence suffisante de celle-ci sur l'environnement physique pour créer de nouvelles conditions de milieu. Pour cette région présaharienne, notre opinion est différente (FLORET *et al.*, 1976) parce que nous avons pu mesurer le rôle considérable joué par la végétation pérenne dans le piégeage du sable et de la matière organique entraînés par les vents, matériaux qui s'accumulent au pied de chaque touffe, les conditions redevenant alors propices au développement d'une abondante végétation constituée d'espèces annuelles. BOURGES *et al.* (1980) ont également montré, en Tunisie méridionale, l'importance des variations du couvert végétal sur le ruissellement et l'infiltration de l'eau. KASSAS (1966), sur la base d'observations semblables concluait à l'existence de successions en zone aride.

Cependant, 7 années de mise en défens de 5 systèmes écologiques du Sud tunisien n'ont permis le développement d'espèces nouvelles dans aucun d'entre eux, même si le couvert végétal a été, en général, multiplié par 2 (FLORET, 1980).

Il faut aussi remarquer que si la dynamique naturelle des systèmes écologiques steppiques ayant acquis une certaine maturité est faible, le succès de la régénération, consécutive à une perturbation temporaire, telle que période de sécheresse ou de surpâturage léger, est la règle. Ceci traduit, selon la terminologie anglaise proposée par HOLLING (1973) et NOY-MEIR (1974) leur forte résilience. Cependant, si des perturbations trop importantes se manifestent, telle des labours répétés ou un surpâturage prolongé, la régénération est évidemment plus lente. La vitesse de cicatrization est d'ailleurs très variable selon le degré de perturbation et selon le système écologique concerné. Elle dépend du matériel végétal qui subsiste, des conditions de germination et de croissance des espèces, elles-mêmes liées aux nouvelles caractéristiques physico-hydrauliques et chimiques du substrat qui résultent de la détérioration de certaines propriétés du milieu. Si le milieu a été trop perturbé, le système écologique a dépassé sa « limite d'élasticité » (GODRON, 1979), la végétation naturelle ne peut retrouver son état initial. Un nouveau type de végétation, moins productif, en équilibre avec ce nouvel environnement se met en place.

Pratiquement donc, en parallèle avec les études et mesures réalisées sur les systèmes écologiques dans leur état actuel (couvert végétal, profil hydrique du sol, phytomasse, production, etc.), des études de la dynamique de la végétation et des sols en mode diachronique pluri-annuel ont été entreprises sur des parcelles dont on connaissait avec assez de précision l'utilisation passée, ou bien sur lesquelles il a été réalisé des traitements de dynamique provoquée. Certains de ces traitements correspondent aux pratiques actuelles de la population : défrichement, arrachage des plantes ligneuses pour le bois de feu. D'autres correspondent à des aménagements qui pourraient être préconisés : mise en défens de courte durée, recépage de la végétation, scarifiage et sursemis. D'autre part, la comparaison des photographies aériennes anciennes et récentes (3 dates disponibles dans le cas de Zougrata : 1949, 1963, 1975) a été entreprise sur une partie représentative de la zone d'étude).

2.4. CARTOGRAPHIE

Ainsi, progressivement, la diagnose des systèmes écologiques, réalisée par une équipe interdisciplinaire et exprimée sous la forme d'une carte thématique complexe, s'est trouvée améliorée par de nouveaux renseignements.

De nombreuses informations peuvent être extraites de la carte de synthèse en vue d'expressions cartographiques à caractère interprétatif; on peut ainsi dresser des cartes des ressources pastorales, des ressources en terres, de la sensibilité du milieu aux facteurs de la désertisation, etc., qui permettent par la suite, en jouant sur différentes combinaisons de caractères, d'élaborer des documents utiles pour proposer l'aménagement régional; il peut s'agir, par exemple, de dresser des cartes de localisation optimale des cultures, des zones irrigables, des zones où la régénération pastorale est possible, etc.

2.5. MODÉLISATION

Afin de mieux étudier les réactions des systèmes en place aux diverses pressions qu'ils pourraient subir selon divers scénarios d'aménagement, un modèle a été utilisé. Il est constitué par des matrices de transition (USHER, 1966 et 1969; GODRON, 1973; GODRON & LEPART, 1975; FLORET *et al.*, 1973; REDETZKE, 1973; HORN, 1975; DEBUSSCHE *et al.*, 1977; SLATYER, 1977) qui sont seulement des « résumés » de l'évolution des systèmes. Une matrice est constituée par les pourcentages de passage (coefficients de transition) d'un système écologique à un autre, pour un pas de temps initial donné et pour un scénario d'aménagement déterminé (fig. 5), modifiés dans certains cas afin de tenir compte d'événements particuliers (successions d'années pluvieuses ou sèches, par exemple). La cartographie, faite par ailleurs, ayant permis de calculer la surface occupée par chacun des types de systèmes écologiques à l'heure actuelle, la multiplication de la matrice par le vecteur surface permet une « simulation » de l'évolution de ces surfaces dans les années futures, pour chaque multiple du pas de temps initial.

Les résultats ainsi obtenus sont utilisés, à chacune de ces étapes, pour avoir une estimation de « l'état de dégradation » de la zone étudiée. Ceci se réalise à l'aide d'indices qui sont basés essentiellement sur la capacité de chacun des systèmes à retenir par infiltration les précipitations tombées, ainsi que sur l'utilisation agro-pastorale qui peut en être faite. Tout au cours de la « simulation », il est donc possible de suivre les tendances évolutives de la « dégradation » ou de « l'amélioration » de la région considérée et cela en fonction de chaque scénario d'aménagement proposé (FLORET *et al.*, 1978).

Les tendances d'évolution mises en évidence à partir de ce modèle, tendances qui ont pu être validées dans le cas précis où des photographies aériennes de différentes dates pour les mêmes zones étaient disponibles, nous ont paru assez fiables. Ce modèle peut donc être considéré comme un bon outil de travail, facilement accessible aux aménageurs, facilitant le dialogue avec eux, et cela même s'il ne prend pas en compte l'ensemble des mécanismes fonctionnels (SLATYER, 1977).

3. LES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES D'UNE ZONE REPRÉSENTATIVE DU SUD TUNISIEN

3.1. CARACTÉRISATION

La zone-test de Zougrata, considérée comme étant représentative d'une bonne partie des régions arides du Sud tunisien, est située à 40 km au nord-ouest de Gabès (fig. 1).

La pluviosité moyenne annuelle est d'environ 175 mm, les pluies tombent surtout durant la saison froide (octobre à mars), en 20 à 30 jours. L'irrégularité extrême de la quantité et de la distribution inter-annuelles des pluies (39,3 mm en 1946 et 533,6 mm

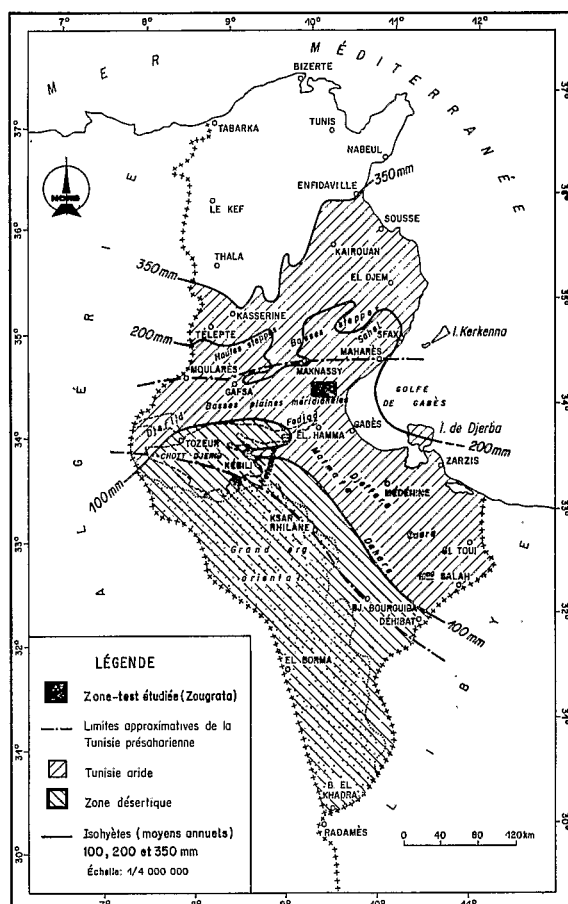


FIG. 1. — Situation de la région de Zougata en Tunisie présaharienne.

en 1975-1976 à Gabès) ⁽¹⁾, un très grand déficit hydrique annuel théorique (environ 1 300 mm) et 4 à 6 mois de sécheresse absolue en avril et septembre, sont les principaux traits de ce climat classé dans l'« Étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur », au sens d'EMBERGER (1954).

Cette zone de 81 260 ha, constituée d'un ensemble de glacis, plaines, plateaux, élaborés principalement au quaternaire, bordée de reliefs calcaires peu élevés, caractérisée par un réseau hydrographique semi-endoréique, est soumise à une forte pression humaine (20 habitants/km²) et animale, qui s'est accentuée au cours des 20 dernières années.

⁽¹⁾ Une étude statistique (FLORET *et al.*, 1978) montre, qu'une année sur cinq, la pluviosité peut être inférieure à 100 mm (année sèche) et, qu'une année sur cinq, elle peut être supérieure à 250 mm (année pluvieuse).

SIGLES DES SYSTEMES		SD 2	SD 1	GD 2	GD 1	AZ 2	AZ 1	AA 2	AA 1	aa	
BIOCLIMAT		PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES					P ≈ 160 mm				
		TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES					T ≈ 21°C				
- HYPOMETRIE		- Altitude 150-250m		- Altitude 100-150m		- Altitude 75 à 100m		- Altitude 50 à 100 m			
- LITHOLOGIE		- Montagnes calcaires, à relief disséqué		- Glacis à encroûtement calcaire et buttes lémains de l'ancienne surface villafranchienne à croute calcaire		- Glacis d'érosion à croute ou encroûtement gypseux		- Plateaux et glacis d'érosion sur matériau à nodules calcaires.			
- GEOMORPHOLOGIE											
VEGETATION SPONTANEE	TYPE PHYSIONOMIQUE (Formations)	HERBACES LIGNEUX BAS		LIGNEUX BAS		HERBACES LIGNEUX BAS		LIGNEUX BAS		HERBACES chaume-jach	
	ESPECES DOMINANTES	- <i>Stipa tenacissima</i>		- <i>Gymnocarpus decander</i>		- <i>Lygeum spartium</i>		- <i>Atractylis serratioloides</i>		- <i>Arthrophyllum scoparium</i>	- <i>Diploaxis harra</i>
		- <i>Artemisia herba alba</i>		- <i>Atractylis serratioloides</i>		- <i>Helianthemum lippii</i> var <i>sessiliflorum</i>		- <i>Helianthemum kahiricum</i>		- <i>Asteriscus pygmaeus</i>	- <i>Launaea nudicaulis</i>
		- <i>Gymnocarpus decander</i>		- <i>Helianthemum lippii</i> var <i>sessiliflorum</i>		- <i>Linaria oxyptera</i>		- <i>Gymnocarpus decander</i>		- <i>Erodium glaucophyllum</i>	- <i>Stipa retorta</i>
	- <i>Arthrophyllum scoparium</i>		- <i>Rhantherium suaveolens</i>				- <i>Anarrhinum brevifolium</i>		- <i>Artemisia herba alba</i>	- <i>Plantago ovata</i>	
	Etat du couvert végétal	bon état 30%	dégradé à très dégradé 15%	peu dégradé 20%	très dégradé 10%	peu dégradé 20%	très dégradé 5%	peu dégradé 20%	très dégradé 3%	— 5%	
	Biomasse aérée (kg mat. plantes pérennes sèche/ha)	1700	850	900	300	650	300	350	50	100	
SOLS	TYPE PEDOGENETIQUE	- Bruts d'érosion		- Régosols sur croute calcaire démantelée		- Sols à accumulation gypseuse (croule ou encroûtement)		- Sols isohumiques bruns subtropicaux tranquilles, ou régosols sur limons à nodules calcaires. Présence éventuelle d'un encroûtement calcaire ou gypseux			
	RUISSELLEMENT EROSION	- Ruissellement fort		- Ruissellement moyen à fort		- Ruissellement moyen à fort		- Ruissellement moyen à faible			
		- Erosion hydrique forte		- Erosion hydrique forte		- Erosion hydrique moyenne à faible		- Erosion hydrique moyenne à faible			
	RESERVE D'EAU UTILE MOY. DU SOL POUR LA VEGETATION (en mm)	60	45	98	75	75	52	144	108	126	
POPULATION HUMAINE	HABITAT	HABITAT RARE - CONSTRUCTIONS EN DUR					HABITAT CONCENTRE CONSTRUCTIONS EN DUR		HABITAT DISPERSE CONSTRUCTIONS EN DUR		
	POINTS D'EAU	CITERNES DE RUISSELLEMENT									
	ACTIVITES	- Cueillette de bois à usage domestique		- Cueillette de bois à usage domestique		- Cueillette de bois		- Cueillette de l' <i>Arthrophyllum scoparium</i> (nef)		- Aménagement des glacis (gours, tobacs)	
	- animaux domestiques	- Cueillette de fibres alfa (tressage)		- Utilisation des parcours par les ovins et les caprins au printemps et en été.		- Zone de parage des troupeaux		- Utilisation des parcours en hiver et au printemps par les ovins et par les caprins.		- Arboriculture (oliviers) et céréaliculture	
	- cultures	- Utilisation des parcours en été par les caprins		- Fours à chaux		- Utilisation intensive des parcours toute l'année par les ovins, caprins et animaux de traits		- Parcours sur chaumes et sur jachères			
	- etc....										
SYSTEMES ECOLOGIQUES		SIGLES	SD 2	SD 1	GD 2	GD 1	AZ 2	AZ 1	AA 2	AA 1	aa
		Surfaces en ha. et %	1610 (1,98%)	1275 (1,59%)	315 (0,39%)	2015 (2,48%)	2070 (2,55%)	7835 (9,64%)	315 (0,39%)	8290 (10,2%)	7955 (9,79%)
PRODUCTION ANNUELLE DE LA PARTIE AERIEENNE DE LA VEGETATION SPONTANEE (kg mat sèche /hectare /an)	Annuelles	année humide	150	150	350	150	300	150	150	150	650
		année moyenne	80	80	150	65	100	40	100	100	50
		année sèche	20	20	40	10	35	10	10	10	10
		année humide	1100	600	800	500	600	300	500	150	250
		année moyenne	900	500	600	370	350	180	350	60	100
	Pérennes	année humide	450	200	300	200	150	75	200	30	30
		année moyenne	370	210	600	400	640	320	420	180	450
		année sèche	270	150	520	260	310	150	290	90	125
		année humide	125	50	230	120	130	60	140	20	20
		année moyenne	—	—	—	—	—	—	—	—	8
Céréales	année humide	—	—	—	—	—	—	—	—	2	
	année moyenne	—	—	—	—	—	—	—	—	0	
	année sèche	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	année humide	—	—	—	—	—	—	—	—	600	
	année moyenne	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Olives (kg mat sèche/ha/an)	année humide	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	année moyenne	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Fig. 2. — Légende de la carte des systèmes

LK ₃	RK ₃	RK ₂	RK ₁	rk ₂	rk ₁	AR ₂	AR ₁	ZR	zr	NS	PV	pv	
ETAGE BIOCLIMATIQUE MEDITERRANEEN: Aride Inferieur - variante à hivers doux									Q ≈ 15 à 20 m ≈ 5° C				
- Altitude : 50 à 75 m - Plaines à accumulation sableuse au pied des glacis.						- Altitude : 50 m - Relief dunaire plus ou moins fixe		- Altitude : 25 à 75 m - Zones d'épandage des oueds avec présence de dunes fixes (Nebkhas).		- Altitude : 50 m - Dépressions			
HERBACES LIGNEUX BAS	LIGNEUX BAS			HERBACES (chaume-jachère)		HERBACES		Ligneux hauts Ligneux bas	HERBACES (chaume-jach.)	LIGNEUX BAS	HERBACES	HERBACES (chaume-jach.)	
- Lygeum spartum - Rhantherium suaveolens - Plantago albicans - Crotalaria dichotoma	- Rhantherium suaveolens - Stipa lagascae - Plantago albicans - Artemisia campestris - Echiochilon fruticosum - Argrolobium uniflorum - Helianthemum lippii var sessiliflorum			- Ptilorhathos lortuosus - Crotalaria dichotoma - Cynodon dactylon - Lolium rigidum - Artemisia campestris		- Aristida pungens - Plantago albicans - Argrolobium uniflorum - Crotalaria dichotoma - Nollelia chrysacornides - Cleome arabica		- Ziziphus lotus - Schismus barbalus - Polygonum equisetiforme - Cynodon dactylon	- Cynodon dactylon - Schismus barbalus - Ptilorhathos lortuosus - Artemisia campestris - Ziziphus lotus	- Suaeda maritima - Salsola vermiculata - Nitaria refusa - Frankenia thymifolia - Arthrocnemum indicum	- Pulicaria laciniata - Verbena supina - Tamarix sp.	- Cynodon dactylon	
bon état 30%	bon état 40%	peu dégradé 20%	très dégradé 10%	— 10%	— 5%	bon état 40%	très faible 5%	bon état 50%	— 15%	bon état 50%	bon état 50%	— 5%	
800	1000	600	200	100	50	700	100	4000	3000	4000	1550	150	
- Sierozems sableux ou peu évolués d'apports steppisés pouvant entrer en sol brun subtropical ou un encroûtement gypseux.				- Sierozems sa- bleux pouvant être tronqués jusqu'au mate- riau à nodules calc. (régosols)		- id sols de RK 3 et RK2		- Sols bruts d'apport éo- lien plus ou moins fixés		- Sols peu évolués alluviaux profonds à texture sabla- limoneuse ou limoneuse sa- bleuse, éventuellement sols en profondeur		- Sols halomor- phes salins plus ou moins salés sur en- croûtement typ- seux de nappe	- Sols peu évolués alluviaux ou hydromorphes, légère- ment salés, à nappe phréa- tique peu profonde - Craie gypseuse de nappe
- Ruissellement faible à nul - Erosion éolienne moyenne à forte.				- Ruissellement moyen à fort - Erosion éolienne forte et érosion hydrique faible		- id sols de RK 3 et RK2		- Ruissellement nul - Erosion éolienne faible		- Sols inondables temporairement - Zones d'infiltration et d'accumulation		- Zones d'infiltration et d'accumulation (submersion temporel- le jusqu'à six mois)	
75	137	126	92	125	85	160	80	218	218	160	310	310	
HABITAT DISPERSE - NOMADES CONSTRUCTIONS EN DUR - TENTES ET ABRIS						PAS D'HABITAT		HABITAT CONCENTRE A LA PERIPHERIE (sur les milieux AZ1 et AZ2)					
PAS DE POINTS D'EAU			Quelques rares citernes			PAS DE POINTS D'EAU			PUITS DE SURFACE				
- Cueillette du bois à usage domestique.				- Céréaliculture et arboriculture		- Cueillette des fibres [fabrication de nattes et abris]		- Cueillette du bois		- Céréaliculture épistodique		- Céréaliculture	
- Utilisation des parcours toute l'année par les ovins et les caprins, et par les jeunes camelins au printemps. Les camelins adultes utilisent les parcours en été.				- Parcours sur chaumes et sur jachères		- Utilisation des par- cours par les ovins et par les caprins toute l'année, à l'exception de l'été.		- Utilisation des parcours toute l'année par les ovins, caprins et o- nimaux de trait		- Arboreticulture vivières - Cultures sur chaumes.		- Parcours par les ovins et par les ca- prins.	
- Cultures vi- vrières de décrue.													
LK ₃	RK ₃	RK ₂	RK ₁	rk ₂	rk ₁	AR ₂	AR ₁	ZR	zr	NS	PV	pv	
1475 (1,82%)	5020 (6,18%)	5505 (6,77%)	13455 (16,55%)	13250 (16,30%)	3805 (4,68%)	200 (0,25%)	85 (0,10%)	255 (0,31%)	4630 (5,70%)	575 (0,71%)	12 (0,0%)	1355 (1,64%)	
450	500	150	100	200	175	450	250	1000	650	1000	300	450	
180	200	50	40	50	50	180	160	750	200	850	600	150	
50	50	10	10	25	20	40	10	100	60	100	50	40	
1000	1100	800	550	250	200	900	150	3000	450	2000	1200	450	
750	800	600	450	100	75	500	80	1500	300	1800	800	300	
350	400	300	200	400	30	300	50	500	150	900	100	150	
910	1130	650	420	340	280	630	170	2300	840	1460	540	410	
560	690	440	320	110	90	290	100	1350	370	1270	520	180	
230	300	210	140	50	40	120	30	330	150	380	60	70	
—	—	—	—	6	4	—	—	—	10	—	—	10	
—	—	—	—	3	2	—	—	—	6	—	—	6	
—	—	—	—	1	0	—	—	—	2	—	—	1	
—	—	—	—	600	400	—	—	—	800	—	—	—	

écologiques de la région de Zougata.

Selon la méthode exposée précédemment (zonage, caractérisation statique et dynamique, productivité, etc.), 22 systèmes écologiques ont été définis (fig. 2) et cartographiés à l'échelle de 1/50 000 ⁽¹⁾. Ils sont, en général, répartis suivant la topo-séquence exprimée sur la figure 3.

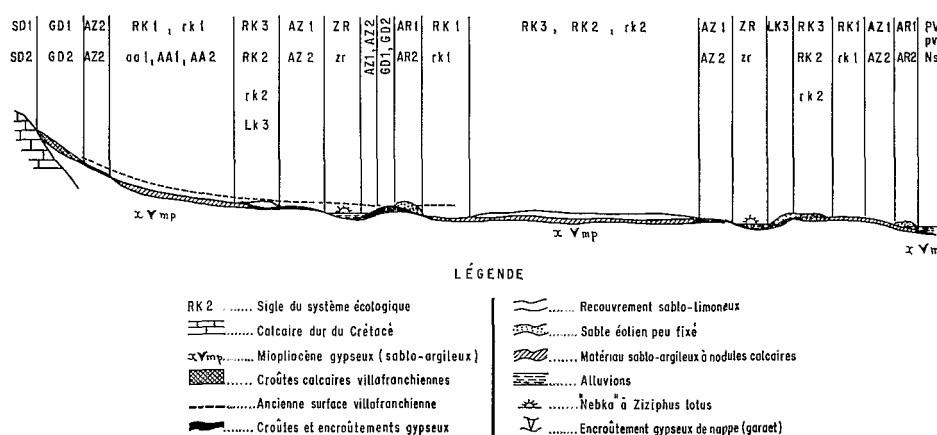


FIG. 3. — Répartition schématique des systèmes écologiques de la région de Zougrata.

3.2. DYNAMIQUE (dégradation, régénération)

A titre d'exemple, la figure 4 exprime l'essentiel des modalités de changement et de passage possible d'un système écologique à un autre, pour 8 d'entre eux localisés sur les steppes sableuses, par régénération ou dégradation, suite aux diverses formes des interventions humaines en usage dans la région de Zougrata.

Les évolutions par dégradation, actuellement dominantes, sont essentiellement dues à la mise en culture, au surpâturage et à l'éradication des plantes à fibre et des espèces ligneuses. Ces transformations sont plus rapides sur les milieux sableux (RK, AR) que sur les milieux limoneux (AA). Elles sont plus lentes dans le cas du surpâturage que dans le cas du labour qui peut conduire graduellement, par érosion, à des changements importants du substrat pour la végétation (ex. RK vers AZ). Une partie des matériaux transportés, produits de l'érosion éolienne, peuvent s'accumuler localement sous forme de dunes (AR).

Les évolutions par régénération sont moins fréquentes que les précédentes, car rares sont les cas de mise en défens, ou d'aménagement agro-pastoral qui les provoquent. La diminution de la pression sur le milieu permet donc la reconstitution plus ou moins rapide du couvert végétal (ex. RK₁ vers RK₂). Le piégeage d'une partie des matériaux mis en mouvement par le vent, grâce au meilleur développement

⁽¹⁾ La description détaillée des systèmes écologiques est donnée dans une publication antérieure (FLORET *et al.*, 1978); le tableau de la figure 2 exprime l'essentiel des caractéristiques de chacun des systèmes écologiques identifiés sur la zone-test de Zougrata. Chaque système est représenté sur les figures par 2 lettres, majuscules dans le cas d'un système à végétation naturelle, minuscules dans le cas d'un système cultivé. Un numéro accompagne ces lettres qui traduit l'état de dégradation du système (3 = bon état, 2 = état moyen, 1 = dégradé).

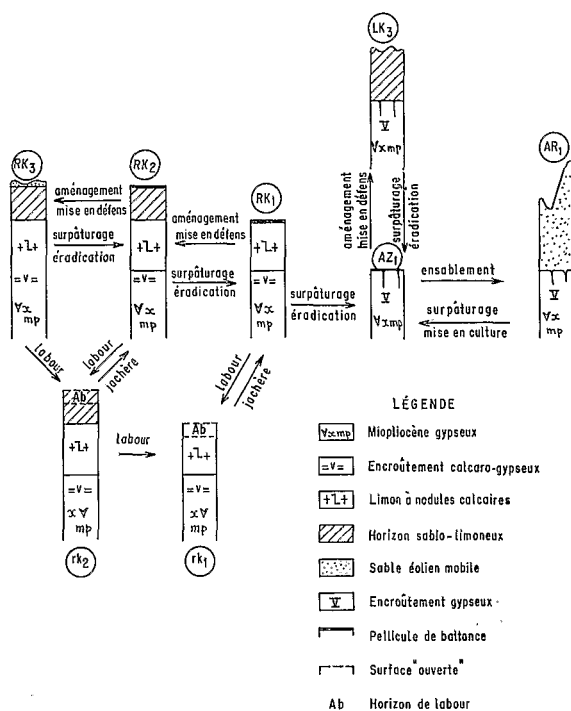


FIG. 4. — Exemples de relations entre les systèmes écologiques des steppes sableuses de la région de Zougata.

de la partie aérienne des plantes pérennes, favorise une bonne germination des plantes annuelles, une meilleure rétention de l'eau dans le sol (ex. RK_2 vers RK_3 , AZ_1 vers AZ_2); il en résulte un accroissement de la biomasse et une production supérieure.

Par ailleurs, les produits de l'érosion hydrique, issus de glacis limoneux soumis au labour (aa) ou provenant des systèmes écologiques de montagne soumis au surpâturage, tendent à s'accumuler dans les bas-fonds et à accroître l'épaisseur du sol des systèmes ZR , PV et NS .

3.3. ÉVALUATION DES PRINCIPALES RESSOURCES NATURELLES DE LA ZONE

Nous nous proposons d'évaluer, à l'échelle de cette zone de 81 260 ha, l'état actuel (1975) des ressources en sols, en eau, en végétation, en animaux, etc., et de chercher à simuler par la modélisation le devenir possible de ces ressources à l'horizon de 25 ans (une génération humaine), les pratiques actuelles se perpétuant.

3.3.1. État actuel (1975)

Les terres à pâturage représentent environ 50 000 ha dont seulement le tiers est en bon état. Le reste de la surface est occupé par des terres de cultures emblavées épisodiquement suivant le régime des précipitations de l'année.

Il apparaît aussi qu'il y a environ 55 000 ha de sol potentiellement cultivables, parmi lesquels 25 000 ha sont très sensibles, surtout à l'érosion éolienne (milieux sableux). Parmi ces sols cultivables, près de 20 000 ha seraient susceptibles d'être irrigués s'il y avait suffisamment de ressources en eau; il s'agit principalement des sols profonds et à bon drainage (RK_3 , rk_2 , zr).

En outre, on considère que 6 000 ha sont devenus totalement inaptes à la culture et même à l'utilisation pastorale; ce sont des surfaces désertisées.

Le tableau I donne un aperçu des principales productions végétales et de leurs fluctuations en fonction des précipitations annuelles.

TABLEAU I

Variations sur la région de Zougrata (81 260 ha) de l'état actuel des ressources végétales, de la charge animale théorique optimale et des superficies cultivées, en fonction des précipitations annuelles.

	Année sèche $P < 100$ mm	Année moyenne $P = 160-180$ mm	Année pluvieuse $P > 250$ mm
Production primaire nette de la partie aérienne de la végétation spontanée (tonnes de matière sèche/an).....	12 000	34 000	58 000
Production pastorale consommable (en milliers d'U. F./an).....	2 400	6 600	11 600
Charge animale en équilibre (en U. O.) en élevage traditionnel utilisant la totalité de la production consommable.....	6 300	18 400	30 500
Surfaces emblavées ⁽¹⁾ (en ha).....	9 300	15 500	25 000
Production céréalière (en tonnes de grains/an)	1 400	6 000	17 800

⁽¹⁾ En année sèche, 25 à 30 % des superficies défrichées sont emblavées; en année moyenne environ 50 % des superficies défrichées sont emblavées; en année pluvieuse, environ 80 % de superficies défrichées sont emblavées.

Pour une phytomasse aérienne moyenne des espèces ligneuses de 700 kg de M. S./ha sur l'ensemble des pâturages, la production pastorale moyenne est de 120 U. F./ha/an ⁽¹⁾, ce qui correspond à une charge théorique de 18 400 U. O. ⁽²⁾. Cette production est d'abord obtenue au niveau de chacun des systèmes à partir de mesures et estimations de production primaire disponible pour l'animal (en utili-

⁽¹⁾ U. F. (Unité Fourragère) = équivalent énergétique d'un kilogramme d'orge.

⁽²⁾ U. O. (Unité Ovine) composée d'une brebis, de son produit, de 1/25 de bélier, de 1/5 d'antennaise et de 1/100 d'antennais, qui a des besoins énergétiques annuels de 380 U. F. en élevage traditionnel du Sud tunisien, dont 95 % sont prélevés sur le parcours.

sant un coefficient variable suivant les saisons pour passer des kilogrammes de matière sèche aux unités fourragères). Pour l'ensemble de la zone la production pastorale est obtenue à partir de la surface, calculée par planimétrie, de chacun des systèmes écologiques. Si l'on tient compte des 6 000 tonnes de céréales (grain) produites par les 25 % de la surface emblavable en année moyenne, la production pastorale globale moyenne pour l'ensemble de la région se situe aux alentours de 155 U. F./ha/an pour une pluviométrie comprise entre 150 et 175 mm.

Les ressources en eaux de la zone de Zougrata consistent essentiellement en :

— *eaux de ruissellement* : importantes en bordure des reliefs; une faible fraction seulement est actuellement collectée;

— *eaux des nappes proches de la surface* : en général de faible débit, de mauvaise qualité, exploitables par des puits pour l'abreuvement du troupeau;

— *eaux des nappes profondes* : peu prometteuses (mauvaise qualité, et coûts d'exploitation trop élevés); donc peu de possibilité d'irrigation;

— *les eaux des mares temporaires* (Garaet) utilisables en année pluvieuse; par exemple, en 1973-1974 pour une pluviosité de 300 mm, ces réserves ont représenté 7.10^6 m³ sur la zone-test (qui se sont malheureusement évaporées).

3.3.2. Évolution prévisible à partir de l'état actuel

L'étude des relations entre les systèmes écologiques permet de prévoir les tendances évolutives de chacun d'entre eux sous l'influence de l'utilisation qui en est faite par l'homme (mise en culture après éradication des ligneux, surpâturage, mise en défens, etc.) (cf. fig. 4).

Pour tenter de simuler cette évolution et la modéliser, connaissant les taux actuels de passage d'un système écologique à un autre pour un laps de temps donné, il est possible de proposer, pour toute la zone, une matrice de transition. A partir des surfaces initiales de chacun des systèmes écologiques, on peut ainsi obtenir une nouvelle répartition des surfaces (non localisée dans l'espace), au terme d'un pas de temps donné.

La matrice proposée pour le scénario « *Maintien du système actuel* » (fig. 5) présente des pourcentages de transformation (coefficients) à partir de l'état actuel pour les 5 premières années d'évolution. Cette matrice permet de quantifier les transformations dont des exemples sont schématisés sur la figure 4. Les coefficients sont obtenus principalement à partir de mesures faites sur une série diachronique de photographies aériennes (1948-1963-1975) mais aussi à partir d'observations effectuées entre 1969 et 1977 concernant l'érosion des sols, l'ensablement, les vitesses de cicatrization de la végétation observées sur des friches, des jachères, des steppes surpâturées qui avaient été mises en défens et, enfin, grâce aux connaissances obtenues par expérience et enquêtes sur la région.

Grâce au calcul, on peut faire apparaître l'évolution des surfaces de chaque système au terme de 10, 15, 20, 25 ans, etc.

En faisant référence aux différents thèmes qui peuvent être extraits de la carte des systèmes écologiques, on peut avoir un aperçu du devenir de la région, par exemple après 25 années de maintien des pratiques actuelles et dans des conditions climatiques moyennes. On constate (tableau II) :

— que les surfaces en pâturages auront diminué de 12 % au profit de la céréaliculture,

— que la production d'ensemble, exprimée en équivalent U. F., sera passée, en moyenne, grâce à l'accroissement de la céréaliculture, de 155 à 162 U. F./ha/an.

	RK ₃	RK ₂	RK ₁	LK ₃	AR ₂	AR ₁	AA ₂	AA ₁	GD ₂	GD ₁	SD ₂	SD ₁	AZ ₂	AZ ₁	ZR	PV	NS	rk ₂	rk ₁	ao	zr	pv
RK ₃	4				0,5																	
RK ₂	2	85	0,5		0,5														8	3		
RK ₁			95										0,5						4,5			
LK ₃	1			95		1												2				
AR ₂					100																	
AR ₁					5	93												2				
AA ₂							94	5												1		
AA ₁								92												8		
GD ₂						0,5			90,5	9												
GD ₁						0,5				99,5												
SD ₂											95	5										
SD ₁										1		99										
AZ ₂						0,5							90,5	9								
AZ ₁						0,5								99,5								
ZR															98					2		
PV																						100
NS																	100					
rk ₂		3	1		0,5													92,5	3			
rk ₁			3				1					0,3							94,7	1		
ao								3				0,3								95,7		
zr					0,5																99,5	
pv																						100

FIG. 5. — Matrice de transition pour le scénario « Maintien du système actuel » (établie pour une période de 5 ans). Exemple de lecture, pour la première ligne : en 5 ans, 11 % de la surface occupée par le système écologique RK₃ seront cultivés et passeront en rk₂; 0,5 % seront recouverts de dunes vives et deviendront AR₁; 4 % seront dégradés par surpâturage en RK₂; 84,5 % seront encore en RK₃.

Cette faible progression de la production d'ensemble (4 à 5 % en 25 ans) semble dérisoire vis-à-vis des risques encourus dans la sauvegarde du potentiel des ressources naturelles. En effet :

— dans le même temps, les parcours en bon état auront régressé de plus de 30 %;

— la phytomasse aérienne totale des espèces ligneuses, principale protection contre l'érosion éolienne, aura régressé de près de 20 %;

— la capacité de stockage de l'eau par les sols (réserve utile) aura baissé et le coefficient primaire moyen régional de ruissellement aura augmenté;

— les surfaces « désertisées pour tous les usages » (FLORET, LE FLOC'H, PONTANIER, 1976) auront ainsi progressé de 15 %.

4. PROPOSITIONS POUR MODIFIER LA DYNAMIQUE ACTUELLE : AMÉNAGEMENT SUR DES BASES ÉCOLOGIQUES

La poursuite des pratiques utilisées actuellement dans la gestion des ressources naturelles de la zone-test de Zougrata, malgré un accroissement de la production végétale totale en équivalent énergétique de 5 % conduit, à moyen terme (25 ans),

TABLEAU II

Effets prévisibles comparés de deux scénarios d'aménagement de l'espace rural et de la poursuite du système d'exploitation actuel dans la région de Zougrata (81 260 ha).

	Situation prévisible au terme de 25 ans			
	État actuel (1975)	Maintien du système actuel	Localisation optimale des cultures	Aménagement pastoral
Occupation des terres :				
. 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
Coefficient de ruissellement primaire moyen en année très pluvieuse (%).	37,0	38,0	33,0	31,0
Réserve moyenne en eau utile des sols de la région (en mm).....	111	108	109	115
Productions (en année à pluviosité moyenne) :				
. Phytomasse aérienne totale des plantes pérennes (en tonnes de matière sèche).....	42 000	36 000	40 000	54 000
. Évaluation de la production pri- maire nette de la végétation (parcours + jachères) (en tonnes de matière sèche par an).....	34 000	30 000	33 000	46 000
. Évaluation de la production pas- torale consommable par les animaux (en milliers d'U. F. par an) ⁽¹⁾	6 600	5 700	5 900	9 100
. Charge animale théorique en équilibre (en U. O.) ⁽²⁾	18 400	15 800	16 300	25 200
. Production céréalière ⁽³⁾ (en tonnes de grains récoltés/an) .	6 000	7 200	7 200	7 200

⁽¹⁾ 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.

⁽²⁾ Ces chiffres sont théoriques; ils sont relatifs à une conduite traditionnelle du troupeau. Il est évident que, au terme de 25 ans, l'expérimentation zootechnique aura permis d'augmenter les performances animales et que les normes d'élevage ne seront plus les mêmes.

⁽³⁾ La surface des terres n'est pas un facteur limitant de la céréaliculture. En effet, dans les différents scénarios, au terme de 25 ans, les sols en friche traditionnellement réservés à la culture sont encore abondants (cf. tableau I).

à un état de détérioration tel qu'il sera très difficile et très coûteux de retrouver une productivité satisfaisante. Aussi, est-il proposé en annexe quelques principes d'aménagement agro-pastoral en zone aride sur des bases écologiques.

4.1. PROPOSITIONS DE SCÉNARIOS D'AMÉNAGEMENT

Dans ce contexte, deux types d'aménagement régional sont étudiés ici pour la zone de Zougrata, l'un ne demandant qu'une intervention légère par rapport aux pratiques actuelles, l'autre, au contraire, plus ambitieux, permettant de mieux assurer la sauvegarde du capital sol-végétation.

Premier scénario. Aménagement régional avec localisation optimale des cultures

Ce scénario est basé principalement sur la localisation 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. Il implique l'interdiction de défricher les parcours encore en bon état.

La céréaliculture pourrait ainsi continuer à être pratiquée dans les zones déjà cultivées (pv , zr , aa , rk_1 , rk_2) et on autoriserait son extension sur les steppes de zones sableuses ou limoneuses déjà dégradées (RK_1 , AA_1).

Actuellement, en effet, on constate un rythme d'augmentation de la surface céréalière d'environ 1 000 ha pour un pas de 5 ans, principalement au détriment des steppes sableuses en bon état (RK_3 et RK_2). On décide, dans ce scénario, de prélever ces 1 000 ha pour 1/3 dans RK_1 et pour 2/3 dans AA_1 .

Deuxième scénario. Aménagement régional pastoral avec réduction des surfaces cultivées

Il consiste, en premier lieu, à éliminer les cultures des zones sableuses et à les « intensifier » sur les zones pouvant recevoir des appoints d'eau par ruissellement (aa , AA_1 , zr , pv , RK_1 et rk_1). Toutes les zones sableuses cultivées (rk_2) retournent donc au parcours (RK_2); une partie de ce RK_2 se régénère en RK_3 .

En effet, on aménage et on régénère les parcours sur les anciennes surfaces sableuses cultivées. On maintient, au début, les effectifs actuels en animaux, grâce à un aménagement pastoral complet (réserves fourragères, pâturage différé, rotations, etc.); par la suite, on autorise l'augmentation de la charge animale. L'amélioration du parcours ne sera pas effectuée sur les zones trop dégradées AA_1 et RK_1 où la culture pourra s'étendre.

4.2. EFFETS DES AMÉNAGEMENTS AU TERME DE 25 ANS

Comme dans le cas du « maintien du système actuel », on a construit deux autres matrices de transition (une pour chaque scénario d'aménagement) qui, par leurs coefficients, traduisent les choix des aménageurs. Grâce à l'utilisation de ces matrices, une comparaison sur les effets prévisibles des scénarios proposés est possible tous les 5 ans.

L'examen du tableau II montre qu'il y a finalement peu de différences, au bout de 25 ans, entre le maintien du système actuel et un aménagement léger avec localisation optimale des cultures pour l'occupation des terres et les productions. Cet aménagement contribue, par contre, à ralentir surtout la dégradation des parcours en interdisant le défrichement des meilleurs d'entre eux. En revanche, des différences importantes apparaissent si l'aménagement pastoral est mis en œuvre, surtout en ce

qui concerne la conservation du patrimoine naturel. La production consommable au terme de 25 ans sur les parcours devient supérieure de 3 400 000 U. F. à ce qu'elle serait dans le cas du maintien du système actuel d'exploitation; mais cette amélioration de la production pastorale ne peut être obtenue que progressivement dans cette période de 25 ans, grâce à une charge animale temporaire inférieure à celle d'équilibre; elle demande aussi un encadrement technique (personnel, réseau de surveillance...), plus important.

Le maintien du système actuel et la localisation optimale des cultures font progresser les « surfaces désertisées pour tous les usages » de 1 000 ha environ en 25 ans, cependant que l'autre scénario les stabilise. Dans le cas des deux scénarios d'aménagement, l'amélioration du bilan hydrique des sols est très nette par rapport à l'état actuel, ce qui, en zone aride, est un résultat très important.

CONCLUSIONS

La méthode présentée ici utilise le système écologique comme unité élémentaire pour asseoir un aménagement de type agro-pastoral.

Elle met l'accent sur l'intérêt de la connaissance de la dynamique des nombreux systèmes écologiques de la zone aride d'Afrique du Nord. Elle prend également en compte l'évolution de l'utilisation des terres dans ces régions. En effet, si cette dynamique en région aride influencée par l'homme est relativement lente, l'impact humain grandissant suite à l'explosion démographique et à la sédentarisation, entraîne actuellement une évolution très rapide du milieu naturel. Il faut approfondir les connaissances sur cette évolution afin de pouvoir, grâce à l'utilisation, dans un contexte socio-économique donné, de scénarios contrastés, aider l'aménageur à prendre ses décisions. Les scénarios ne constituent pas, en effet, en eux-mêmes des plans d'aménagement complets qui demanderaient de tenir compte plus intensément des aspects socio-économiques; mais ils permettent de prévoir les conséquences de certains choix.

On ne saurait trop souligner la difficulté de faire vivre décemment de l'agriculture une population nombreuse sous 100 à 200 mm de pluie annuelle à caractère très aléatoire. Les objectifs de l'aménagement sont en général difficilement compatibles entre eux. Il faut, en effet, augmenter le revenu des habitants tout en conservant le potentiel des ressources naturelles renouvelables. La mise en pratique des principes d'aménagement agro-pastoral pour ces zones arides, donnés dans le texte et en annexe, doit permettre de freiner la dynamique de dégradation en cours de ces systèmes fragiles tout en intensifiant la production.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Mme G. RICOU et M. S. DE PARCEVAUX de l'I. N. R. A. et MM. M. GODRON et G. LONG, du C. N. R. S., pour leurs remarques et leur contribution à la mise au point de cet article.

ANNEXE

Quelques principes d'aménagement agro-pastoral dans la zone aride au nord du Sahara

Certains de ces principes sont à la base des deux scénarios d'aménagement proposés dans le texte. Cette liste peut aussi permettre d'en établir d'autres.

— Intensifier si c'est possible la production végétale, grâce à l'irrigation à partir des eaux souterraines (en tenant compte de la nécessité du renouvellement de ces réserves).

— Rechercher une meilleure utilisation des eaux de ruissellement par la multiplication des actions de concentration et de stockage (petits barrages de retenues, citernes de ruissellement, prises d'eau sur les oueds, aménagement des épandages de crue, etc.), pouvant permettre l'installation de cultures fourragères, vivrières et arboricoles.

— Localiser la céréaliculture uniquement dans les zones où la mise à nu périodique du sol n'entraîne pas une érosion éolienne et hydrique trop importante. On évitera de cultiver les zones sableuses ou bien les collines en pente. Les céréales seront donc installées de préférence sur les piedmonts limoneux et dans les zones d'épandage.

— Intensifier la culture des céréales par le perfectionnement des techniques de culture (densité optimale de semis), de travail du sol et par une utilisation légère d'engrais (surtout azotés) durant les années pluvieuses ou dans les zones recevant régulièrement un appoint d'eau chaque année, par ruissellement. Il sera souhaitable également d'intensifier la production par la sélection des variétés les mieux adaptées à ces situations (cycle court, faible exigence en eau).

— Utiliser des techniques culturales adaptées pour éviter la pulvérisation du sol qui favorise l'érosion; on remplacera la charrue à disques d'un usage courant actuellement par des instruments à dents, moins agressifs.

— Maintenir le niveau de fertilité en cherchant à remplacer les éléments enlevés au milieu par la culture; c'est-à-dire, par exemple, enfouir les pailles et utiliser le fumier des animaux domestiques.

— Privilégier l'élevage par rapport à la culture. Les animaux recyclent, en effet, la plus grande partie de leurs prélèvements de nourriture sous forme de déjections et, d'autre part, la couverture végétale naturelle pérenne des parcours est le meilleur obstacle aux phénomènes d'érosion.

— Diminuer la charge actuelle en animaux sur certaines zones, soit pour équilibrer avec la production des parcours, soit encore temporairement pour permettre une régénération de la végétation actuellement surpâturée.

— Mettre en défens les zones trop surpâturées et dont la végétation possède une dynamique suffisante pour que la régénération soit possible, en particulier les zones sableuses et montagneuses. Il est inutile de mettre en défens les zones déjà trop dégradées, si les semenciers n'existent plus, ou bien si le sol est peu profond. Sur certaines zones qui ont été cultivées durant de nombreuses années, il est pratiquement impossible de revenir avant plusieurs décennies à la végétation pastorale originelle; il vaut mieux alors continuer à les cultiver. Les mises en défens de longue durée sont à éviter. Il vaut mieux introduire une charge en animaux plus faible que la charge d'équilibre qui stimule la repousse, ameublir le sol et enfouit les graines.

— Vulgariser davantage les actions zootechniques susceptibles d'augmenter l'efficacité de la production du bétail et de diminuer la mortalité (vaccinations, bains anti-parasitaires, utilisation de farines et concentrés, etc.).

— Ajuster la charge en animaux à la production du parcours et aménager les meilleurs d'entre eux par le système du pâturage différé ou des rotations.

— Encourager la production fourragère en sec ou en irrigué, pour assurer aux animaux la complémentarité nécessaire durant les périodes de disette, permettant une certaine stabilité des effectifs. Il faut favoriser la plantation d'arbustes fourragers par la population, en particulier dans les petits thalwegs trop étroits ou trop érodés pour que la culture y soit possible.

— Fournir aux habitants des nouvelles sources d'énergie pour les usages domestiques; prévoir des boisements utilisables en bois de feu pour diminuer la pression sur les ligneux de la steppe.

— Favoriser la commercialisation et le stockage des produits agricoles et l'approvisionnement des agriculteurs.

— Essayer de favoriser, sinon d'organiser, les échanges assurant la complémentarité entre les zones intensives (oasis) et extensives (steppes).

RÉFÉRENCES

- BOURGES J., FLORET C., GIRARD G. & PONTANIER R., 1981. — Étude d'un milieu représentatif du Sud tunisien (type seguï). Citerne Telman. Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris.
- DEBUSSCHE M., GODRON M., LEPART J. & ROMANE F., 1977. — An account of the use of transition matrix. *Agro-Ecosystems*, 3, 81-92.
- DYKSTERHUIS E. J., 1958. — Ecological principles in range evaluation. *Botan. Rev.*, 24, 253-272.
- EMBERGER L., 1954. — Une classification biogéographique des climats. Travaux de l'Institut de Botanique, Montpellier, F, 3, 3-43.
- EVANS F. C., 1956. — Ecosystem as the basic unit in ecology. *Science*, 123, 1127-1128.
- FLORET C., 1980. — Influence de la mise en défens sur la végétation steppique de la zone aride méditerranéenne. Étude dynamique sur 5 types de végétation du Sud tunisien. Symposium sur la dynamique de la végétation dans les formations herbacées, les landes et les formations méditerranéennes ligneuses. Association internationale de Phytosociologie, Montpellier, 15-20 septembre 1980. Actes du Symposium II-7.
- FLORET C., LE FLOC'H E., ROMANE F., LEPART J. & DAVID P., 1973. — Production, sensibilité et évolution de la végétation pour la planification de l'aménagement régional de la zone-test d'Oglat Merteba. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie et Cent. Études phytosociologiques et écologiques, Montpellier. Doc. C. E. P. E. 71, 45 p.
- FLORET C., LE FLOC'H E. & PONTANIER R., 1976. — Carte de la sensibilité de la désertisation en Tunisie Centrale et Méridionale (processus de dégradation en cours des sols et de la végétation). *Sols de Tunisie*, 8, 4-68.
- FLORET C., LE FLOC'H E., PONTANIER R. & ROMANE F., 1978. — Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement agro-pastoral des régions arides. Application à la région de Zougrata. Inst. Rég. Arides Médenine, Dir. Ress. Eau et Sols Tunis, Centre Études phytosociologiques et écologiques, Montpellier, Office Rech. Sc. Techn. Outre-Mer, Paris, 74 p.
- FLORET C. & PONTANIER R., 1978. — Étude des relations climat-sol-végétation de quelques formations végétales naturelles du Sud tunisien (Production-bilan hydrique des sols). Inst. Rég. Arides Médenine, Dir. Ress. Eau et Sols Tunis, Centre Études phytosociologiques et écologiques, Montpellier et Office Rech. Sc. Tech. Outre-Mer, Paris, 96 p.
- GODRON M., 1973. — Quelques réflexions sur les modèles applicables à l'aménagement du territoire, in : *Analyse socio-économique de l'environnement Saint-Nizier*, Grenoble, 12-15 décembre 1972, 75-85.
- GODRON M., 1979. — *Éléments d'écologie des végétaux terrestres*, Université Montpellier II, 66 p.
- GODRON M. & POISSONET J., 1972. — Quatre thèmes complémentaires pour la cartographie de la végétation et du milieu (séquence de végétation, diversité du paysage, vitesse de cicatrization, sensibilité de la végétation). *Bull. Soc. Languedocienne de Géographie*, 6, 3, 329-356.
- GODRON M. & LEPART J., 1975. — Sur la représentation de la dynamique de la végétation au moyen de matrices de succession. In: R. TUXEN (ed.), *Sukzessionsforschung*. Ber. Symp. Int. Ver. Vegetationskunde, Rinteln, 1973, 269-287, Cramer. Vaduz.
- HOLLING C. S., 1973. — Resilience and stability of ecological systems. *Ann. Rev. Ecol. et Syst.*, 4, 1-23.
- HORN H. S., 1975. — Markovian properties of forest succession. In: M. CODY & J. DIAMOND (ed.), *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, 196-211.
- KASSAS M., 1966. — Plant life in deserts. In: E. S. HILLS (ed.), *Arid lands, a geographical appraisal*, 145-180. Methuen Co. Ltd., London and UNESCO, Paris, xviii + 461 p.
- LE HOUEROU H. N., 1969. — La végétation de la Tunisie steppique (avec référence à l'Algérie, au Maroc et à la Libye). *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tun.*, 42, 5, 620 p.
- LEWIS J. K., 1969. — The ecosystem concept in range management. *An. Soc. Range Management Abstr.*, 12, 23-25.
- LONG G., 1974-1975. — *Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire*. Masson et Cie (éd.), Paris, 2 vol., 252 p., 222 p.
- LONG G., 1975. — Pour une stratégie de la recherche, dans le cadre de projet 3 du MAB, appliquée aux zones arides du Nord du Sahara. In: *Options méditerranéennes*, 26, 39-48.
- MANIL C., 1963. — Niveaux d'écosystème et hiérarchie de facteurs écologiques. Un exemple d'analyse dans les hêtraies ardennaises de Belgique. *Bull. Sci. Acad. Roy. Belgique*, 49, 6 (32), 603-623.

- NATIONS UNIES, 1977. — Étude de cas sur la désertification. Région d'Oglat Merteba. Conférence des Nations Unies sur la Désertification. Nairobi, 1977. Doc. A/CONF. 74/12; 143 p. (anglais et français).
- NOY-MEIR I., 1974. — Stability in arid ecosystems and the effects of man on it. In: A. J. COVÉ (ed.), *Structure, functioning and management of ecosystems*. Proc. of the First International Congress of Ecology. Wageningen, Pudoc, 220-225.
- ODUM H. T., 1959. — *Fundamentals of Ecology*. End. Ed. Saunders, Philadelphia, Pennsylvania, 546 p.
- REDETZKE K. A., 1973. — *A matrix model of a rangeland grazing system*. Ph. D. Thesis, Colorado State University, Fort-Collins, États-Unis, 145 p.
- SHREVE O., 1972. — The desert vegetation of north America. *Botan. Rev.*, 8, 4, 195-246.
- SLATYER R. O., 1977. — Les changements dynamiques dans les écosystèmes terrestres : modalités techniques d'étude et application à l'aménagement. Notes tech. MAB-UNESCO, Paris, 36 p.
- TANSLEY A. G., 1935. — The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16, 284-307.
- USHER M. B., 1966. — A matrix approach to the management of renewable sources with special reference to selection forests. *J. Appl. Ecol.*, 3, 355-367.
- USHER M. B., 1969. — A matrix model for forest management. *Biometrics*, 25, 2, 309-315.
- WAGNER F. H., 1976. — Integrating and control mechanisms in arid semi-arid ecosystems. Consideration for impact assessment. Proceedings of a Symposium on Evaluation of Environmental Impact. 27th Annual Meeting of the American Institute of Biological Sciences.