

# DYNAMIQUE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES SAHELIENS LE CAS DE LA MARE D'OURSIS (BURKINA FASO)

Michel Grouzis

## Resumen

Después de haber recordado las principales condiciones que determinan la degradación de las tierras del Sahel, este trabajo se propone con la ayuda de las investigaciones realizadas sobre la estructura, la productividad y la dinámica de los sistemas ecológicos sahelianos (Charca de Oursi, Burkina Faso), de evaluar las capacidades de regeneración de la vegetación natural sometida a las condiciones de sequía intensa y protegida de las actividades humanas.

Con este fin, seis unidades de vegetación correspondiente a diferentes tipos de suelos y de utilización estuvieron protegidas del ganado durante cinco años. Las variaciones temporales y anuales de la fitomasa herbácea aérea y los coeficientes de eficacia pluviométrica estuvieron determinadas.

Las diferentes características de estructura y de dinámica actual asociadas con ciertos aspectos de la dinámica histórica (evolución climática, ocupación antigua) permitieron elaborar un modelo dinámico del sistema ecológico saheliano. Este muestra que este sistema ecológico es de una gran complejidad que, bajo una relativa homogeneidad fisionómica, oculta una grande diversidad florística, estructural, funcional y evolutiva. Bajo el efecto conjugado de la sequía y sobre todo de la antropización, este sistema está el sitio de procesos de degradación conduciendo a su desertificación progresiva.

Algunos ejes prioritarios de investigaciones (definición del equilibrio ecológico, umbrales de rupturas, condiciones de regeneración) están ahora propuestos.

## Résumé

Après avoir rappelé les principales conditions qui déterminent la dégradation des terres au Sahel, ce travail se propose à l'aide des investigations réalisées sur la structure, la productivité et la dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso), d'évaluer les capacités de régénération de la végétation naturelle soumise à des conditions de sécheresse intense et protégée des activités humaines.

A cet effet, six unités de végétation correspondant à différents types de sol et d'utilisation ont été protégées du bétail pendant cinq années. Les variations saisonnières et annuelles de la phytomasse herbacée épigée et les coefficients d'efficacité pluviométrique ont été déterminés.

Les différentes caractéristiques de structure et de dynamique actuelle, associées à certains aspects de la dynamique historique (évolution climatique, occupation ancienne) ont permis d'élaborer un modèle dynamique du système écologique sahélien. Celui-ci montre que ce système écologique est d'une grande complexité qui, sous une relative homogénéité physiologique masque une grande diversité floristique, structurale, fonctionnelle et évolutive. Sous l'effet conjugué de la sécheresse et surtout de l'anthropisation, ce système est le siège de processus de dégradation conduisant à sa désertisation progressive.

Quelques axes prioritaires de recherche (définition de l'équilibre écologique, seuils de rupture, conditions de régénération) sont alors proposés.

## Summary

In most arid and semi-arid zones primary production is limited by water budget and intensive anthropogenic pressure. The sahelian zone is marked by an irregular and persistent downward rainfall trend which began about in 1968. The vegetation has been subjected to extensive overgrazing for several decades and is generally degraded.

The investigation reported herein was carried out within the framework of a large programme on the structure, productivity and dynamics of sahelian ecological systems (Oursi Pond watershed, BURKINA FASO). The scope of the research was to measure the capacities for regeneration of native vegetation protected from human activities, mainly overgrazing, under severe sahelian climatic conditions.

For this purpose, six units of vegetation corresponding to different types of soil and land use were entirely protected from domestic herbivores during five years. The seasonal and annual variations of aboveground herbaceous phytomass and rain use efficiency have been assessed.

The structural features and present day dynamic characteristics as well as some aspects of past dynamics (climatic evolution, ancient landuse...) avail the design of a sahelian ecological system dynamics model. This model shows that, in spite of conspicuous homogeneity, this system has a large floristic, structural, fonctionnal and dynamic diversity. As a result of persistent drought and human degradation this ecological system evolves towards desertisation.

Some priorities in research programmes (process of establishing equilibrium in sahelian ecosystem, limits of its upsetting process of regeneration and rehabilitation conditions are then proposed.

## Introduction

Le Sahel est la frange sub-saharienne qui s'étend de l'Atlantique à la Mer Rouge entre les isohyètes 100 mm et 600 mm. Cette bande, large de 400 à 600 km, s'étire sur une longueur de l'ordre de 6000 km et couvre ainsi une superficie de 3 millions de km<sup>2</sup> (Le Houérou, 1989).

Cette zone éco-climatique subit une forte dégradation liée d'une part à un processus d'aridification (Michel, 1984) et d'autre part aux activités humaines qui accentuent les effets des conditions climatiques déjà défavorables (Grouzis et Albergel, 1989).

Après avoir rappelé les principales conditions qui déterminent l'extension des surfaces dégradées au Sahel, ce travail se propose, à l'aide des travaux réalisés sur la structure, la productivité et la dynamique des systèmes écologiques de la Mare d'Oursi (nord du Burkina Faso, Grouzis, 1988), d'évaluer les capacités de régénération de la végétation. Un modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens est proposé.

## Le contexte sahélien

### *La sécheresse*

Les études relatives à l'évolution de la pluviométrie révèlent que les pays de la zone soudano-sahélienne accusent des déficits hydropluviométriques particulièrement intenses (Nicholson, 1981, Olivry, 1983, Albergel *et al.*, 1985, Snijders, 1986). Cette période de sécheresse qui s'est installée à la fin des années soixante se singularise des autres sécheresses connues (1913, 1931, 1939...) par sa durée (plus de 18 ans de déficit pluviométrique dans certaines stations), son ampleur (fréquence élevée d'années exceptionnellement sèches) et son extension géographique (les zones méridionales présentent les mêmes caractéristiques).

Les conséquences de cette période de sécheresse sur les grands systèmes hydrologiques sont rappelées par Albergel (1988), à savoir : effondrement des débits des grands fleuves (Sénégal, Niger), bouleversement des systèmes lacustres (Lac Tchad), baisse généralisée des nappes aquifères.

Ce sont là des conditions particulièrement défavorables à la régénération de la végétation.

### *L'emprise humaine*

Les zones sahéliennes sont actuellement caractérisées par une forte croissance démographique (2,5 à 3 % an<sup>-1</sup>). Estimée à 35 millions d'habitants en 1984, la population sahélienne atteindrait 70 millions d'ici 25 ans si les tendances actuelles se maintiennent.

Pour faire face aux besoins de cette population en pleine expansion et combler un déficit céréalier global qui s'accroît à un rythme de 5 % l'an, des techniques extensives d'exploitation sont développées car les rendements évoluent peu (Grouzis et Albergel, 1989). Les cultures s'étendent aux dépens des jachères, des bas-fonds et des zones d'aptitude culturale souvent marginale et sensibles à l'érosion. Ainsi Dewispelaere et Toutain (1976) notent pour le Sahel burkinabé, entre 1955 et 1975, un accroissement des surfaces cultivées au rythme de 2,25 % par an, chiffre très voisin de la croissance démographique.

Sur le plan pastoral la logique est comparable. L'éleveur tend à augmenter l'effectif du cheptel pour accroître les chances de reconstitution

du troupeau en cas d'accident climatique. De ce fait le milieu surexploité n'est plus en mesure de répondre aux besoins du bétail. C'est ainsi que la production herbacée du bassin versant de la Mare d'Oursi ne permet d'assurer l'entretien du bétail qu'une année sur deux (Grouzis, 1988).

L'empreinte de l'homme sur le milieu n'est pas uniquement due aux activités actuelles mais relève aussi de l'histoire. En effet cette région a été largement occupée pendant la première moitié du premier millénaire après J.C. (1900 à 1375 avant nos jours). Les vestiges témoignent d'une occupation sédentaire relativement dense reposant sur une activité agricole (Grouzis, 1988, Barral, 1977).

Ces systèmes d'exploitation caractérisés par une consommation d'espace, associés à la contrainte sécheresse induisent globalement une dégradation du milieu : remobilisation des sables, extension des terres stériles.

Dans ce contexte globalement défavorable on peut se demander quelles sont les capacités de régénération de ces systèmes écologiques.

#### **Les capacités de régénération des systèmes écologiques sahéliens : le cas du bassin versant de la Mare d'Oursi**

Ce bassin se situe au nord du Burkina Faso, entre les parallèles 14° 20' et 14° 50' N et les méridiens 0° 10' et 0° 40' W. La moyenne des précipitations annuelles (1976-1984) est de 368 mm. Elles se répartissent en 39 jours mais près de 90 % des précipitations tombent entre les mois de juin et de septembre. La moyenne annuelle de l'ETP est 8 fois plus élevée que celles des précipitations (Chevallier *et al.*, 1985).

Six unités de végétation correspondant à différents types de sol et d'utilisation (tableau 1) ont été entièrement protégées de l'action des herbivores domestiques pendant 5 années. Le potentiel de régénération naturelle a été apprécié sur ces unités et leurs témoins par l'évolution de certains paramètres caractéristiques de la végétation (Grouzis, 1988).

Les effets de la mise en défens, largement positifs dans les sites peu ou moyennement dégradés se répercutent sur la structure de la végétation, la composition floristique, la production et la dynamique de la strate ligneuse.

TABLEAU I  
CARACTERISTIQUES DES UNITES DE VEGETATION ETUDIEES

<i>Site</i>	<i>Nom</i>	<i>Géomorphologie</i>	<i>Utilisation</i>
Oursi	Ams	dune, sables éoliens	pâturage de saison sèche
Kolel	Cep	piémont, sables éoliens, erg récent	pâturage de saison sèche, zone de cultures
Gountoure	Ase	pédiplaines à plaquages sableux	pâturage de fin de saison des pluies, pâturage arbustif en saison sèche
Kouni	Sgl	glacis de transit, sol limoneux à surface "glacée"	pâturage de fin de saison des pluies
Bas Kolel	Sgr	glacis de bas de pente	pâturage de fin de saison des pluies
Winde	Spt	glacis d'épandage, sols vertiques	pâturage de début de saison des pluies, zones de cultures du sorgho

#### *Les effets sur la structure*

Sur le plan structural, la protection engendre une augmentation de l'hétérogénéité et du recouvrement notamment dans les glacis de transit à sol lourd. En effet, un effet cumulatif permet aux éléments de végétation haute et dense des zones favorables de s'étendre car la paille constitue un obstacle au sable et aux diaspores.

#### *Les effets sur la composition floristique*

Sur le plan floristique, la protection se manifeste généralement par un accroissement de la richesse floristique. Dans certaines unités (glacis de bas de pente) celle-ci double pratiquement en cinq années de protection. Dans les autres unités (dunes, piémont, glacis) les tendances sont difficiles à dégager en raison des fluctuations interannuelles élevées.

La suppression du pâturage permet aussi l'extériorisation des phénomènes de compétition interspécifique. A titre d'exemple, les résultats relatifs aux unités Spt et Sgr sont donnés sur les figures 1 et 2.

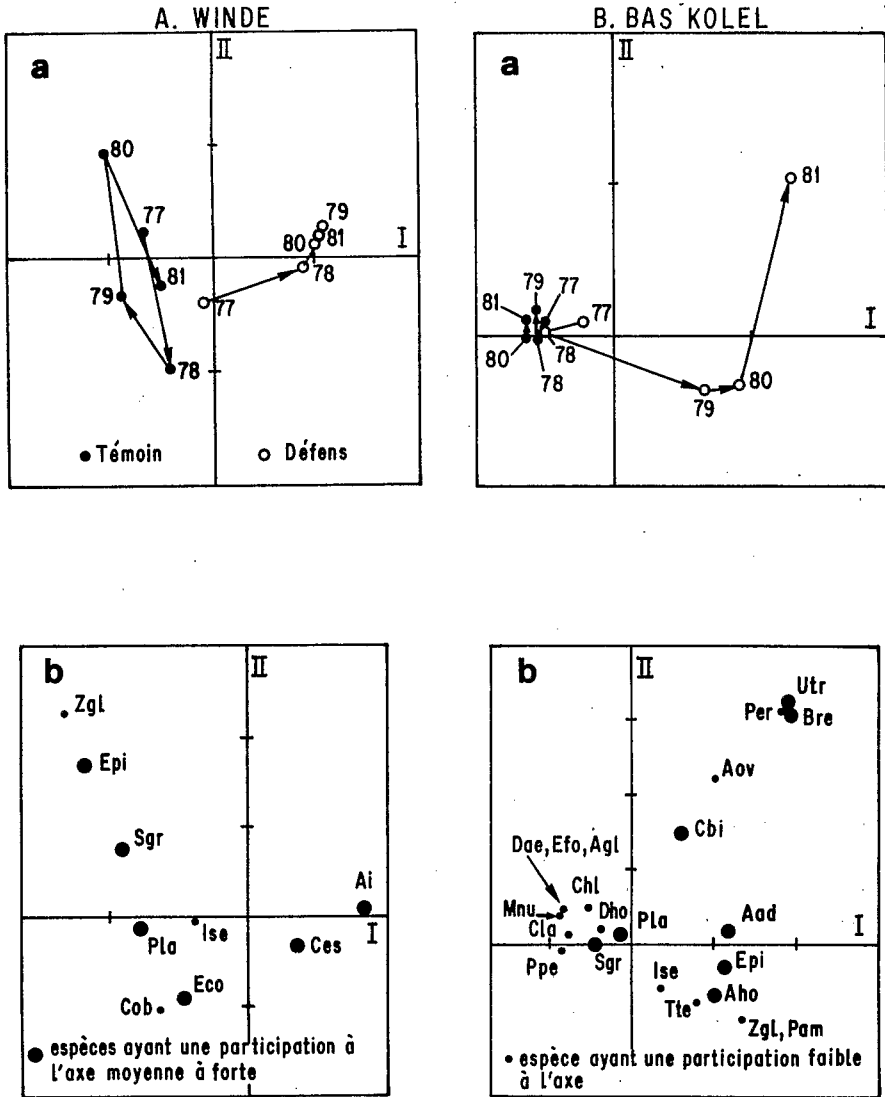


Fig. 1. Analyse diachronique de la végétation. Diagramme des relevés (a) et diagramme des espèces (b) dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR. La ligne qui relie les différentes dates (cheminement) traduit les phases successives de l'évolution de la végétation.

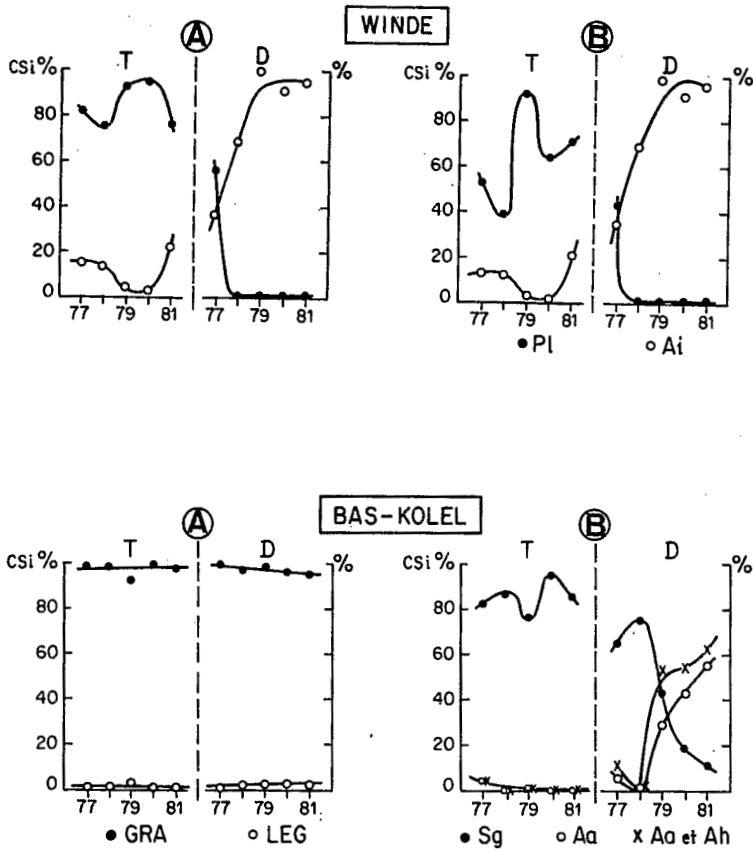


Fig. 2. Variations interannuelles de la contribution spécifique (CS %) des familles (A) et des espèces principales (B) dans les conditions actuelles (T) et de mise en défens (D).  
 GRA, LEG : graminées, légumineuses; Pl : *Panicum laetum*, Ai : *Aeschynomene indica*;  
 Sg : *Schoenefeldia gracilis*; Aa : *Aristida adscensionis*; Ah : *Aristida hordeacea*.

L'examen des diagrammes des relevés et des espèces dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse des correspondances (Fig. 1) révèle une évolution temporelle très différente de la végétation des parcelles protégées et des parcelles témoins. A Windé l'équilibre semble être atteint dès la deuxième année de mise en défens, alors que la végétation continue à évoluer après 5 années de protection à Bas Kolel.

L'approche analytique (Fig. 2) montre que les graminées de la station de Windé sont complètement inhibées par le développement des légumineuses. Au niveau spécifique cela se concrétise par le total remplacement de *Panicum laetum* par *Aeschynomene indica*. Aucune différence ne s'observe dans les variations interannuelles des contributions spécifiques des graminées et des légumineuses des deux traitements de l'unité Sgr de Bas Kolel. Par contre au niveau spécifique, il apparaît que la contribution spécifique de *Schoenefeldia gracilis*, qui se maintient entre 76 et 95 % dans le témoin, chute dès la 3<sup>ème</sup> année de protection au profit des *Aristida*, en particulier *Aristida adscensionis*.

L'ensemble des résultats relatifs à ces variations floristiques (Grouzis, 1988; Toutain et Piot, 1980) montre qu'en général les graminées (*Schoenefeldia gracilis*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida sieberana*) sont favorisées par la protection dans les unités de végétation établies sur sables, alors que les légumineuses sont avantagées par la mise en défens dans les unités des sols lourds. C'est ainsi que *Schoenefeldia gracilis*, espèce ubiquiste de la région, a une nette tendance à être remplacée par d'autres espèces : *Aristida adscensionis*, *Aristida funiculata*, *Aristida hordeacea* et *Aeschynomene indica* qui élimine aussi *Panicum laetum*.

#### *Les effets sur la production*

L'influence de la protection sur la production varie en fonction de l'unité de végétation considérée et de la période d'exploitation (Grouzis, 1988).

Sur les unités de végétation exploitées en saison sèche telle que Oursi (Fig. 3), les différences en terme de production annuelle ne sont pas significatives bien que la phytomasse des stations protégées soit largement supérieure à celle des parcelles témoins : pente de 0,94 pour Oursi, valeurs comparables et non significativement différentes des productivités annuelles (tableau 2).



TABLEAU 2  
 MOYENNES INTERANNUELLES (1977-1981) DE LA PRODUCTIVITE ( $\text{g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ )  
 DES UNITES PROTEGEES (D) ET TEMOINS (T).

Unités	Ams		Cep		Ase		Sgl		Sgr		Spt	
Traitement	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T
Productivité	2,7	2,9	3,1	3,2	2,3	1,0	1,6	1,0	2,0	1,5	4,9	20

Dans les unités de végétation qui constituent les pâturages de saison des pluies (Ase, Sgl, Sgr, Spt), la protection de la végétation favorise la croissance et entraîne une augmentation sensible de la production des parcelles protégées qui est 1,5 à 2,5 fois plus élevée que celle des parcelles témoins (Fig. 3 et tableau 2).

Cette différence de production se retrouve aussi au niveau des efficacités en eau (Fig. 4). Quel que soit le mode d'expression retenu (RUE par mm de pluie ou WUE par mm d'eau infiltrée) les unités pâturées pendant la saison de végétation se séparent nettement des unités exploitées pendant la saison sèche. Pour le premier groupe (Gountouré, Kouni, Bas Kolel et Windé) il est possible de calculer une droite de régression commune, significative à 1%, et montrant que l'efficacité en eau de la végétation des parcelles protégées est environ 2 fois plus élevée que celle des parcelles témoins. Pour le deuxième groupe (Oursi, Kolel), la répartition des points représentatifs autour de la bissectrice suggère qu'aucune différence ne s'observe entre les deux traitements.

#### *Les effets sur la strate ligneuse*

L'effet de la protection de la végétation se manifeste aussi sur la strate ligneuse : apparition de nouvelles espèces (*Boscia angustifolia*, *Grewia tenax*, *Maerua crassifolia*), augmentation de l'effectif (1,5 à 5 % par an), meilleure croissance (Grouzis, 1988).

#### *Les effets de la réhabilitation*

Dans diverses situations au Sahel, il s'avère qu'après une dégradation

trop importante du milieu la régénération spontanée de la végétation est impossible.

Cependant les nombreux travaux de réhabilitation des systèmes écologiques consistant en une simple action mécanique par travail superficiel du sol (sous-solage, hersage) permettent de montrer qu'un léger travail autorise l'installation de la végétation herbacée à l'emplacement du passage des outils et une augmentation localisée de la production allant de 20 à 100  $\text{g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$ . De plus, de nombreux ligneux (*Acacia*, *Ziziphus*, *Balanites*...) lèvent sur les lignes de sous-solage (Toutain, 1977; Toutain et Piot, 1980; Le Masson, 1980). De même, des reboisements en espèces autochtones (*Acacia ssp*, *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritiana*...) réalisés après travail du sol ont montré des taux de reprise supérieurs à 75 % (Grouzis, 1988).

Fig. 3. Variations interannuelles (1978-1981) de la phytomasse des parcelles protégées (i) en fonction de celle des témoins (e) pour trois unités de végétation différemment exploitées. Les figurés correspondent aux observations de chaque année.

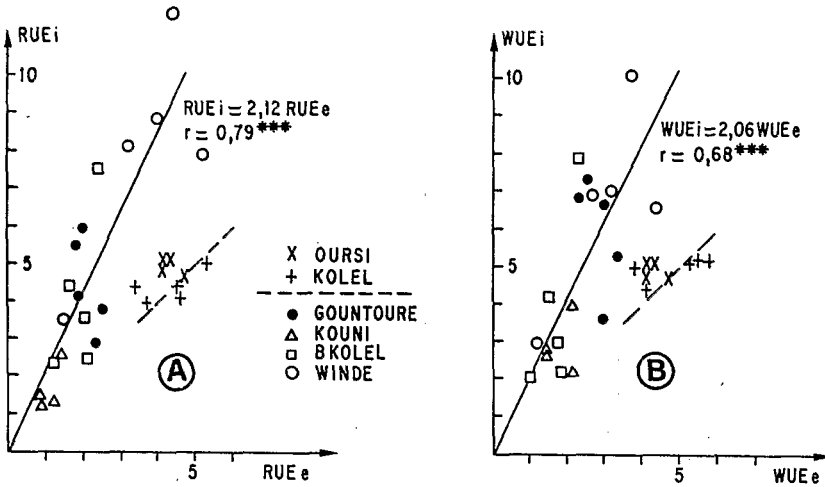


Fig. 4. Relation de l'efficience en eau des parcelles protégées par rapport aux témoins.  
 RUE :  $kg_{MS}.ha^{-1}.mm^{-1}$  de pluie; WUE :  $kg_{MS}.ha^{-1}.mm^{-1}$  de pluie infiltrée.

Cette caractéristique suggère que le potentiel biologique existe et que l'amélioration de certains facteurs physiques suffit à sa manifestation.

Les résultats relatifs aux effets de la mise en défens et des divers aménagements soulignent la fragilité de l'équilibre des écosystèmes sahéliens, leur grande sensibilité aux interactions des différents facteurs et leurs réelles capacités de régénération. La végétation actuelle qui diffère de la végétation potentielle sur les plans de la floristique et de la productivité résulte de l'anthropisation. La pression humaine, très forte dans la région considérée engendre des états d'équilibre très instables caractérisés par une flore relativement pauvre et par des faibles niveaux de productivité.

### Dynamique des systèmes écologiques sahéliens

Ces conclusions nous conduisent à proposer un modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens, extrapolables aux systèmes écologiques de zones arides subissant une forte perturbation anthropique, est représenté sur la figure 5.

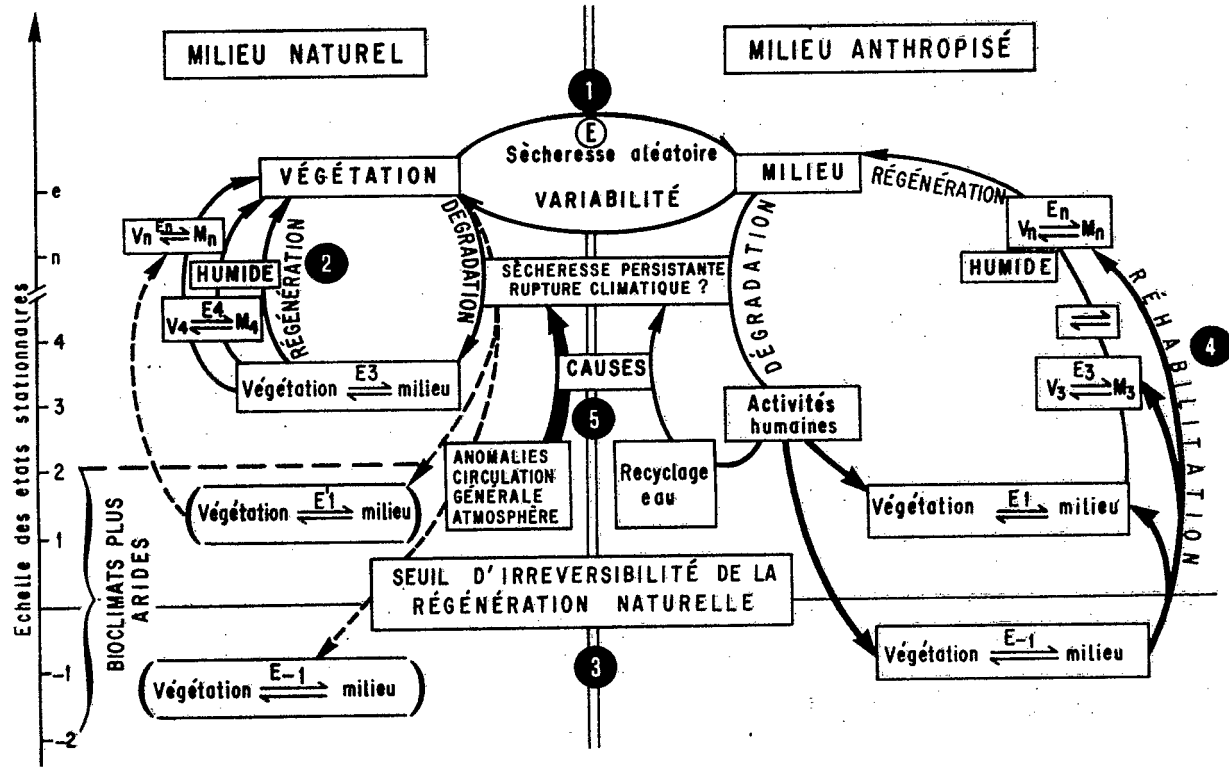


Fig. 5. Modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens.

Lorsque les facteurs qui agissent sur la dynamique d'une phytocénose ne répondent qu'à des fluctuations aléatoires, il s'établit entre la végétation et le milieu un état d'équilibre (E) se traduisant par une structure de végétation (grande diversité floristique, organisation en mosaïque, niveau de production élevé...). Il existe peu ou pas d'exemple de cet état car les milieux naturels au Sahel font défaut, mais des états comparables ont été décrits par Benoit (1984) et Boudet (1983) dans des régions faiblement anthropisées du Burkina Faso et de la Mauritanie. Le résultat issu de la mise en défens de la station de Windé s'en rapprocherait aussi (Cf. Fig. 1 à 4).

Lorsque l'un des facteurs de l'équilibre subit une modification importante (perturbation climatique telle que la sécheresse persistante décrite au Sahel), l'équilibre est rompu et le système s'écarte de son état habituel. Il évolue vers un nouvel équilibre (E3) correspondant à une autre structure de végétation. En milieu sahélien peu ou pas anthropisé, l'effet de la sécheresse se manifeste par exemple par une modification de l'organisation de la végétation. On observe une contraction des ligneux (Courel, 1985) traduisant une adaptation à des conditions hydriques plus défavorables.

Lorsque la pression cesse le retour à l'état initial (régénération) s'effectue soit directement soit par des états intermédiaires (E4, En...), Les étapes intermédiaires du cheminement des images de la végétation dans les expériences de mise en défens pourraient illustrer ces états (Cf. Fig. 1).

En milieu anthropisé l'itinéraire est identique. Cependant le nouvel équilibre se situe à un niveau beaucoup plus bas de l'échelle des états (E1), car aux effets de la contrainte naturelle (sécheresse) sont venus s'ajouter les effets aggravants des perturbations anthropiques. Les phytocénoses étudiées à Oursi se situent dans leur grande majorité à ce niveau qui est caractérisé par une relative pauvreté floristique et un faible niveau de productivité. Dans ces conditions le retour à l'état initial (régénération) nécessite un cheminement beaucoup plus long que dans le cas d'un milieu naturel, car les capacités de stabilisation du système (Blandin, 1980) qui dépendent des espèces constituant la phytocénose, de leurs propriétés, de leur agencement et des disponibilités du milieu (énergie, éléments biogènes) sont moins élevées. De plus, les risques de nouvelles perturbations au cours de ce long cheminement sont importants.

Des conditions de dégradations intenses en relation avec une forte et souvent ancienne occupation humaine peuvent conduire à des niveaux (E-1) dépassant les seuils à partir desquels la régénération naturelle est impossible. Le retour à des états stationnaires plus favorables et à terme à l'état initial ne peut alors se réaliser que par des aménagements :

amélioration des disponibilités du milieu (état de surface, bilan hydrique, fertilité..) et/ou amélioration du potentiel biologique (introduction d'espèces par semis, reboisement..).

Ces niveaux de dégradation sont très fréquents dans les milieux fortement anthropisés. Ils s'observent aussi en milieu naturel dans des bioclimats plus arides que ceux étudiés dans la région de la Mare d'Oursi.

### Conclusion

Dans un contexte climatique plutôt défavorable nous avons pu mettre en évidence dans la région considérée, de réelles capacités de régénération et une vitalité de la végétation qui se manifestent dès la première année de mise en défens par :

- une augmentation de l'hétérogénéité et du recouvrement de la végétation,
- un accroissement de la richesse floristique et une extériorisation des phénomènes de compétition interspécifique,
- des niveaux de production plus élevés dans les unités exploitées en saison des pluies.

Dans les systèmes écologiques fortement dégradés (recouvrement herbacé faible à nul, strate ligneuse pratiquement inexistante, sol érodé...) dans lesquels la régénération naturelle par protection ou mise en repos temporaire n'est plus possible en raison de la faiblesse du potentiel de régénération, un travail du sol associé ou non à un reboisement permet de restaurer le milieu. Tout comme les travaux de Adam (1967), Boudet (1977), Benoit (1984), ces résultats montrent que la végétation sahélienne, placée dans des conditions particulières (charge faible à modérée, pluviométrie favorable...), a de réelles capacités de régénération. Des cas semblables de remontée biologique ont été rapportés par Noble (1977) dans les zones arides australiennes ou par Floret (1981) dans les steppes du sud tunisien.

Pour ce qui concerne la zone sahélienne, ces capacités de régénération résident dans les caractères d'adaptation des espèces et des structures de végétation à la sécheresse et à la variabilité des conditions édapho-climatiques : dominance de thérophytes, d'espèces arido-passives, caractères physiologiques liés aux propriétés germinatives des semences, à la forte proportion de plantes en C4, structure en mosaïque de la végétation... L'ensemble de ces caractères adaptatifs devraient permettre à ces phytocénoses de surmonter le risque climatique, si l'homme par sa pression

actuelle et historique n'engendrait des contraintes permanentes (dégradation des structures) venant aggraver les effets d'une sécheresse persistante depuis deux décennies.

Certains aspects de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens voire des zones arides restent insuffisamment connus. Les recherches devraient s'attacher à caractériser les mécanismes qui sous-tendent l'équilibre et la stabilité des systèmes écologiques. En conséquence les relations de compétition ou de complémentarité entre les différentes strates de la phytocénose, la détermination des seuils biologiques et trophiques permettant la régénération naturelle, constituent des axes prioritaires de recherches.

Ces recherches doivent aussi s'efforcer de définir les moyens de réhabilitation des milieux fortement dégradés par l'évaluation de l'impact à moyen terme des aménagements actuels et par l'étude de la biologie des espèces utilisables dans l'enrichissement du potentiel biologique des systèmes écologiques. La détermination des caractéristiques écophysiologiques des espèces ligneuses autochtones (phénologie, résistance à la sécheresse) en relation avec les propriétés améliorantes des sols (fixation d'azote) constituent des éléments à prendre en considération.

### Bibliographie

- Adam, J.G. 1967. Evolution de la végétation dans les sous-parcelles protégées de l'UNESCO-IFAN à Atar (Mauritanie), *Bull. IFAN*, XXIX, sér. A, 1, 92, 106.
- Albergel, J. 1988. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m<sup>2</sup> au km<sup>2</sup>, étude des paramètres hydrologiques et leur évolution. *Etudes et Thèses*. ORSTOM, Paris, 341 p.
- Albergel, J., J.P. Carbonnel et M. Grouzis, 1985. Péjoration climatique au Burkina Faso. Incidences sur les ressources en eau et les productions végétales. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* 21(1): 3-19.
- Barral, H. 1977. Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral. *Tr. et Doc. ORSTOM*, Paris, 77, 119 p.
- Benoit, M. 1984. Le Seno-Mango ne doit pas mourir : pastoralisme, vie sauvage et protection au Sahel, *Mémoires ORSTOM*, Paris, 143 p.
- Blandin, P. 1980. Evolution des écosystèmes et stratégies cénotiques. In : R. Barbault, P. Blandin, J.A. Meyer (eds.) Recherches d'écologie théorique. Les stratégies adaptatives. 221-234.

- Boudet, G.** 1977. Désertification ou remontée biologique au Sahel. *Cah. ORSTOM, sér. Biologie*, 12(4): 293-300.
- Boudet, G.** 1983. L'agropastoralisme en Mauritanie; perspectives de recherches. IEMVT, Maisons Alfort, 46 p.
- Chevallier, P., J. Claude, B. Pouyaud et A. Bernard.** 1985. Pluies et crues au Sahel : hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso, 1976-1981), *Tr. et Doc. ORSTOM*, Paris, No. 190, 251 p.
- Courel, M.F.** 1985. L'adaptation de la végétation sahélienne à la sécheresse récente : la contraction des ligneux. *Photo-Interprétation* 1, 2: 9-15.
- Dewispelaere G. et B. Toutain.** 1976. Estimation de l'évolution du couvert végétal en 20 ans consécutivement à la sécheresse dans le sahel voltaïque. *Photo Interprétation*, no. 3, 2, 8-18.
- Floret, Ch.** 1981. The effects of protection on steppic vegetation in the Mediterranean arid zone of southern Tunisia. *Vegetation*, 46: 117-129.
- Grouzis, M.** 1988. Régénération des systèmes écologiques sahéliens : Travail du sol et reboisement. In : I.A. Toure et M. Maldague (eds.) Séminaire Régional sur la Dynamique et l'évolution des Ecosystèmes Pastoraux Sahéliens, UNESCO, FAPIS, CIEM, pp. 341-347.
- Grouzis, M.,** 1988. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). *Etudes et Thèses ORSTOM*, Paris, 336 p.
- Grouzis M. et J. Albergel,** 1989. Du risque climatique à la contrainte écologique : Incidences de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. In : Eldin M. et Milleville P., (eds.), Le risque en agriculture, Collection *A travers champs*, ORSTOM, Paris pp. 243-254.
- Le Houérou, H.N.** 1989. The grazing land ecosystems of the African Sahel. *Springer-Verlag, Ecological Studies*, vol. 75, 210 p.
- Le Masson, A.** 1980. Situation de l'élevage bovin dans la sous-préfecture de l'Oudalan (Gorom-Gorom). Rapport d'activités 1977-1979. CIDR, No. 228, 177 p.
- Michel, P.** 1984. Les variations du climat au quaternaire récent dans le Sahel d'Afrique Occidentale et leurs conséquences sur les formations superficielles, l'hydrologie et la pédogénèse. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 18 (3-4): 125-146.
- Nicholson, S.E.** 1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought and wetter periods in West Africa. *Monthly Weather Review*, 109: 2191-2208.
- Noble, I.R.** 1977. Long term biomass dynamics in an arid chenopod shrub community at Koonamore South Australian. *Aust. J. Bot.*, 25: 639-653.
- Olivry, J.C.** 1983. Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, sér. hydrologie*, 20 (1): 47-69.



- Snijders, T.A.B.** 1986. Interstation correlation and non stationarity of Burkina Faso rainfall. *Journal of Climat and Applied Meteorology*, 25: 524-531.
- Toutain, B.** 1977. Essais de régénération mécanique de quelques parcours sahéliens dégradés. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop*, 30(2): 191-198.
- Toutain, B. et J. Piot.** 1980. Mises en défens et possibilités de régénération des ressources fourragères sahéliennes. Etude expérimentale dans le bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta), IEMVT-CTFT, Maisons Alfort, 156 p.