

# ÉVOLUTION ET SEUILS DE RUPTURE DES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES

Les systèmes écologiques du bassin versant d'Oursi, n'échappent pas au phénomène de désertification qui touche la zone bioclimatique sahélienne.

Certains auteurs imputent ces phénomènes de dégradation à la période de sécheresse qu'ils situent dans un processus de péjoration climatique tendant vers l'aridification (MICHEL, 1984 ; TOUPET, 1986). D'autres l'attribuent aux activités humaines qui accentuent les effets des conditions climatiques déjà défavorables (BOUDET, 1972 ; LE HOUEROU, 1979 ; GROUZIS et ALBERGEL, 1989).

Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur les causes du phénomène, l'ensemble de la communauté scientifique reconnaît aujourd'hui la profonde dégradation des systèmes écologiques sahéliens. Les processus de dégradation sont bien connus. Ils débutent par une diminution du couvert végétal ; le sol, moins protégé, est soumis suivant les saisons à l'action du vent et de la pluie. Pendant la longue saison sèche, les vents actifs mettent en mouvement les particules les plus fines du sol. En saison des pluies, le ruissellement augmente et différentes formes érosives s'installent (glaçage superficiel, érosion en nappes, rigoles, ravines...). Ces phénomènes érosifs se manifestent par une perte de terre et une baisse de la fertilité en raison du transport sélectif des particules fines et du lessivage des éléments nutritifs (phénomène de lixiviation superficielle ; ROOSE, 1977). Il en résulte une diminution des réserves en eau du sol et une baisse de la productivité, entraînant de nouveau la régression de la couverture végétale ; la désertification apparaît donc comme un processus en chaîne, difficile à maîtriser une fois amorcé. On peut se demander toutefois si cette évolution est irréversible et quelles sont les capacités de régénération de ces systèmes écologiques.

Après avoir rappelé les principales conditions qui déterminent l'extension des surfaces dégradées, le potentiel de régénération des systèmes écologiques sera évalué par les effets d'une simple mise en défens et de divers aménagements.

# LES CONDITIONS DE LA DÉGRADATION

## LA SÉCHERESSE

Nous ne reviendrons pas sur l'évolution climatique traitée dans le détail dans la première partie. Rappelons simplement que les auteurs s'accordent pour admettre que les pays de la zone soudano-sahélienne accusent des déficits hydropluviométriques particulièrement intenses (OLIVRY, 1983 ; SIRCOULON, 1984 ; ALBERGEL *et al.*, 1985 ; SNIJDERS, 1986 ; HUBERT et CARBONNEL, 1987). 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 caractères).

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. 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 de plus en plus déséquilibrée en raison de la forte urbanisation, on développe des techniques extensives d'exploitation car les rendements évoluent peu (GROUZIS et ALBERGEL, 1987). Les cultures s'étendent aux dépens des jachères, des bas-fonds et des zones d'aptitude culturale souvent marginales et sensibles à l'érosion. Ainsi DEWISPELAERE et TOUTAIN (1976 b) 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.

Les valeurs du potentiel de charge de la zone s'élèvent en moyenne à 11 194 UBT et au maximum pendant la période d'observation à 14 342 UBT (tableau XXXIX). Les dénombrements effectués au mois d'avril 1976 par LHOSTE (1977) et au cours de la saison sèche 1980 par N'Tio (1981) donnent respectivement un effectif de 15 300 UBT et de 14 624 UBT. Il en résulte un excès de charge de 36 % à 30 % si l'on se base sur la production herbacée moyenne. L'équilibre est pratiquement atteint (excès de 6 à 2 % en fonction des dénombrements) en considérant la production maximale obtenue. Si l'on se réfère à la charge moyenne de la zone, il y aurait eu en 1983, année exceptionnellement sèche (204 mm), une surcharge d'environ 9 000 UBT. En termes fréquentiels, on constate que la production du bassin ne permet d'assurer les besoins du cheptel présent, évalué à environ 15 000 UBT, qu'une année sur cinq et qu'il serait nécessaire de délester le bassin d'au moins 15 à 20 % de l'effectif actuel, afin d'assurer la couverture des besoins d'entretien au moins une année sur deux.

La strate ligneuse est particulièrement touchée par ces activités humaines. L'élimination ou la forte dégradation du couvert ligneux est notamment due :

- à la préparation des champs (réduction de l'ombrage, lutte contre la nidification des oiseaux granivores, constitution des haies de protection contre les troupeaux) ;
- à l'émondage et à l'étêtage afin de mettre le feuillage à la disposition du bétail ;
- au prélèvement pour couvrir la quasi-totalité des besoins énergétiques de la population.

L'emprise de l'homme sur le milieu n'est pas uniquement due aux activités actuelles mais relève aussi de l'histoire. Rappelons, en effet, que 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 (BARRAL, 1977 ; GROUZIS, 1988).

TABLEAU XLV

Superficie des pâturages selon l'état de la végétation dans la zone d'endodromie Oursi, Bidi, Gorom-Gorom (TOUTAIN, 1976)

Nature et état des unités		Superficie (ha)	%
Parcours	état 1	8 635	7
	état 2	22 787	18
	état 3	26 785	21
	état 4	36 379	29,5
Mares		2 767	2
Inselbergs		5 453	4
Cultures et jachères		23 058	18,5
Eaux libres		112	
Total		125 976	100

L'état de la végétation est exprimé selon la classification suivante :

- 1 : bon état du tapis herbacé et de la strate ligneuse ;
- 2 : début de dégradation : tapis herbacé éclairci, strate ligneuse stable ;
- 3 : dégradation importante, tapis herbacé très discontinu, mort de quelques ligneux ;
- 4 : dégradation très avancée : tapis herbacé très réduit ou disparu, nombreux ligneux morts ou disparus.

Ces systèmes d'exploitation caractérisés par une consommation d'espace associés à la contrainte sécheresse induisent globalement une dégradation du milieu. Celle-ci se manifeste notamment par la remobilisation des sables et l'extension des dunes vives. DEWISPELAERE et TOUTAIN (1976 a) indiquent par exemple que la surface de la dune vive d'Oursi a été multipliée par douze entre 1955 et 1975. Ce phénomène, bien que localisé, est néanmoins symptomatique. Sur les sols lourds, les zones nues à forte réorganisation superficielle (pellicule de battance) s'étendent. Il en résulte une augmentation sensible du ruissellement (DEWISPELAERE et TOUTAIN, 1981) qui péjore le bilan hydrique des sols.

Le tableau XLV montre que les pâturages dégradés occupent plus de 50 % de la zone considérée. Les parcours présentant une dégradation très avancée (stade 4) s'étendent sur près du tiers du territoire. DEWISPELAERE et TOUTAIN (1976 b) rapportent de plus que ces derniers ont quadruplé de 1955 à 1975 dans la région Oursi-Gorom. En conséquence la production fourragère a diminué de 20 à 25 % pendant cette même période.

Cette évaluation succincte des phénomènes de désertification montre que la région d'Oursi est affectée par différentes formes de dégradation dues notamment à la persistance d'années pluviométriques déficitaires et aux techniques d'exploitation.

Dans ce contexte globalement défavorable on peut se demander quel est le potentiel de régénération de ces systèmes écologiques et quelle est la part respective des facteurs climatiques et anthropiques dans leur évolution.

## LES CAPACITÉS DE RÉGÉNÉRATION

Pour répondre à ces questions deux axes de recherches ont été développés :

- l'étude des effets d'une mise en défens des systèmes écologiques afin de définir leur potentiel de régénération naturelle ;
- le suivi d'opération de réhabilitation (travail du sol, reboisement...) pour évaluer la réponse des systèmes écologiques fortement dégradés aux efforts de restauration.

## LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE

Le potentiel de régénération naturelle a été apprécié par l'évolution de certains paramètres caractéristiques de la végétation, d'unités représentatives protégées (1 ha) de l'exploitation des troupeaux et d'unités témoins (GROUZIS, 1988 a, 1988 b ; TOUTAIN et PIOT, 1980).

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.

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. Parfois la mise en défens provoque une large dénudation de la parcelle, en raison de la constitution à la base du grillage et au cours de la première averse d'un bourrelet de terre et de matières organiques. Cet obstacle bloque la redistribution des diaspores et détourne les eaux de ruissellement, ce qui diminue localement le bilan d'eau (TOUTAIN et PIOT, 1980).

Sur le plan floristique, la protection se manifeste généralement par un accroissement de la richesse floristique. Dans certaines unités (Spt, Sgr) la richesse floristique double pratiquement en cinq années de protection. Dans les autres unités, 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.

À titre d'exemple, les résultats relatifs aux unités Spt et Sgr sont donnés sur les figures 40 et 41.

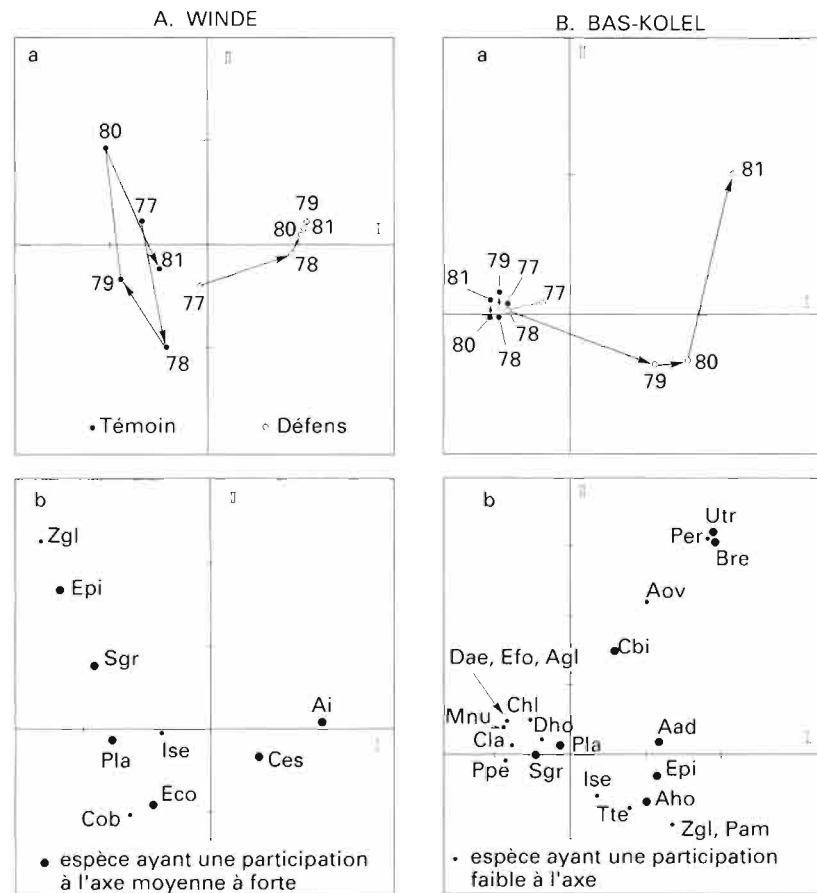


Figure 40 - Analyse diachronique de la végétation (in GROUZIS, 1988).  
Diagramme des relevés (chronogramme a) et diagramme des espèces (cénogramme b) dans le plan des axes I et II de l'analyse des correspondances. La ligne qui relie les différentes dates (cheminement) traduit les phases successives de l'évolution de la végétation.

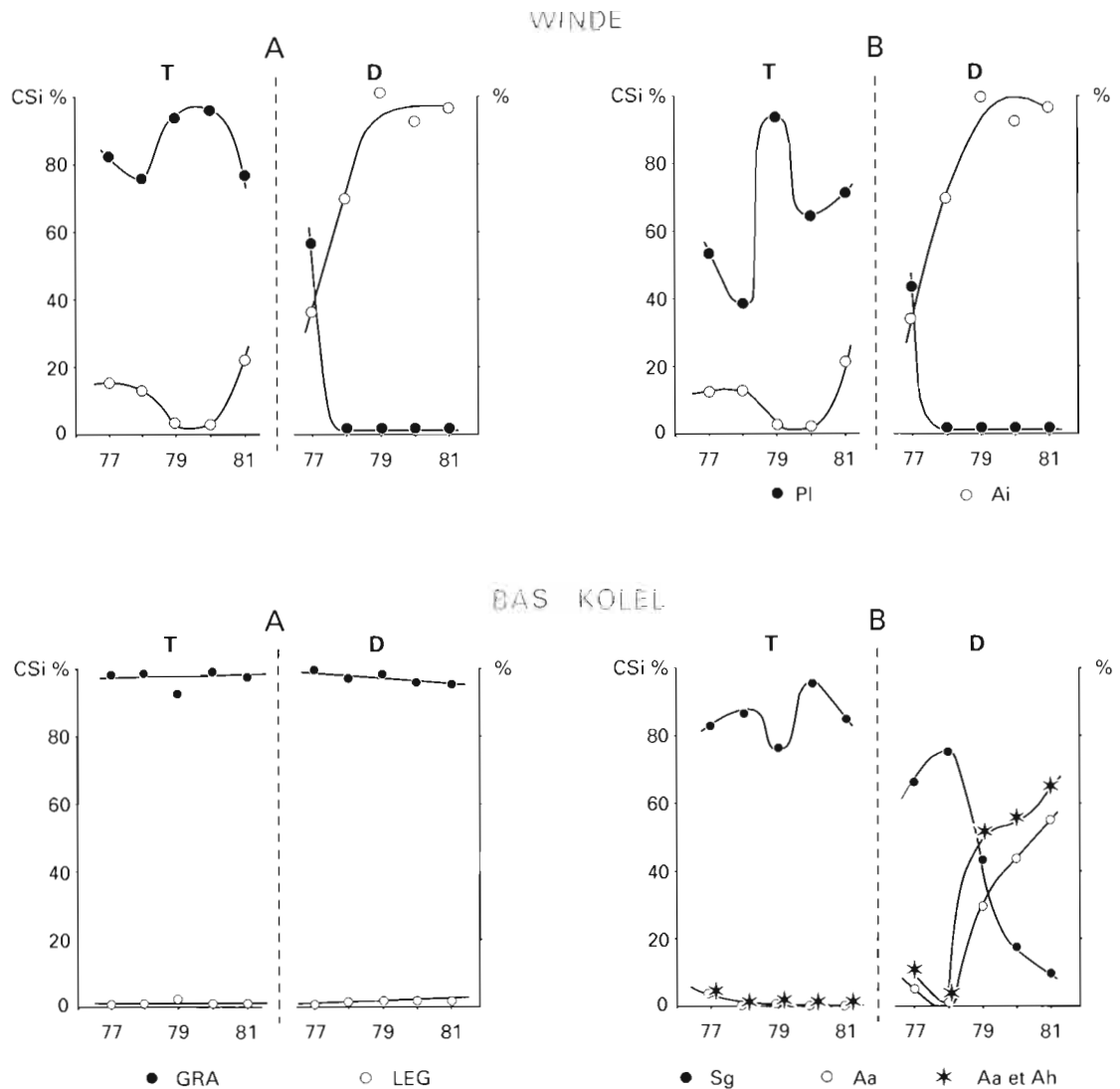


Figure 41 - Variations interannuelles de la contribution spécifique (CSi %) des familles (A) et des espèces principales (B) dans les conditions actuelles (T) et de mise en défens (D).

GRA, LEG : graminées, légumineuses PI : *Panicum laetum* Ai : *Aeschynomene indica*  
 Sg : *Schoenefeldia gracilis* Aa : *Aristida adscensionis* Aa et Ah : *Aristida hordeacea*

L'examen du chronogramme de l'analyse globale relatif à Windé (figure 40 Aa) montre que l'évolution de la végétation dans la parcelle protégée diffère nettement de celle du témoin. Dans cette dernière, les points représentatifs de la végétation groupés autour de *Schoenefeldia gracilis* et de *Panicum laetum* se déplacent nettement vers le bas en 1978 (*Echinochloa colona*) et vers les ordonnées positives en 1980 (*Eragrostis pilosa*). Les oscillations autour d'un état moyen sont relativement élevées. Dès 1977, l'image de la végétation de la parcelle protégée s'écarte du témoin en s'approchant des abscisses positives, grâce à la forte participation de *Aeschynomene indica*. Puis les images successives se resserrent suggérant qu'un état d'équilibre est atteint.

Dans la station de Bas-Kolel (figure 40 Ba) les images des témoins auxquelles s'ajoutent celles des années 1977 et 1978 des zones protégées restent groupées autour de *Schoenefeldia gracilis* et *Panicum*

*laetum*. Puis on assiste à un déplacement vers les abscisses positives du point représentatif de la végétation protégée. Cette évolution correspond à un appauvrissement en *Schoenefeldia gracilis* et à un enrichissement en *Aristida adscensionis*, *Aristida hordeacea* et *Eragrostis pilosa*. Le cheminement vers des ordonnées positives s'explique notamment par la forte participation de *Urochloa trichopus*, *Boerhavia repens*, malgré leur faible recouvrement.

L'approche analytique révèle que malgré de grandes fluctuations interannuelles la contribution spécifique (CS) des graminées de la parcelle témoin de Windé (figure 41) se maintient à un niveau élevé (74 à 96 %) tandis que celle des légumineuses reste constamment basse (2 à 22 %). Dès la deuxième année de protection, les graminées sont complètement inhibées par le développement des légumineuses. Au niveau spécifique cela se concrétise par le total remplacement de *Panicum laetum* par *Aeschynomene indica*. À noter que la faiblesse de la CS de *Panicum laetum* en 1978 s'explique par une submersion prolongée qui a avantagé une espèce plus hygrophile : *Echinochloa colona* (CS = 35 %).

Aucune différence ne s'observe dans les variations interannuelles des CS des graminées et des légumineuses des deux traitements de l'unité Sgr de Bas-Kolel (figure 41). En revanche, au niveau spécifique, il apparaît que la CS de *Schoenefeldia gracilis*, qui se maintient entre 76 et 95 % dans le témoin, chute dès la troisième année de protection au profit des *Aristida*, en particulier *Aristida adscensionis*.

L'ensemble des résultats relatifs à ces variations floristiques (TOUTAIN et PIOT, 1980 ; GROUZIS, 1988) montre qu'en général les graminées sont favorisées par la protection dans les unités de végétation établies sur sables (Oursi, Kolel, Goutouré), alors que les légumineuses sont avantagées par la mise en défens dans les unités de sols lourds, en particulier dans l'unité Spt du bas-fond de Windé. Sur le plan spécifique, les résultats montrent 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*. En revanche, sur les formations sableuses (Oursi, Kolel), cette espèce est plutôt favorisée, ainsi que *Cenchrus biflorus* et l'espèce vivace *Aristida sieberana*.

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 dune et piémont, c'est-à-dire sur les unités de végétation exploitées en saison sèche, 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 (0,96 ;  $r = 0,93^{***}$  pour Kolel non représenté sur la figure 42) ;
- valeurs comparables et non significativement différentes des productivités (tableau XLVI).

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 (figure 42 et tableau XLVI).

Notons que l'ordonnée à l'origine des équations de la figure 42 constitue une estimation de la phytomasse protégeant le sol lorsque les parcelles témoins sont complètement dénudées. La valeur de cette phytomasse varie de 60 à 100  $g_{MS} \cdot m^{-2}$ .

Cette différence de production se retrouve aussi au niveau de l'efficacité en eau ainsi qu'on peut le

TABLEAU XLVI

Moyennes interannuelles (1977-1981) de la productivité ( $g_{MS} \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ) des unités protégées (D) et témoins (T)

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

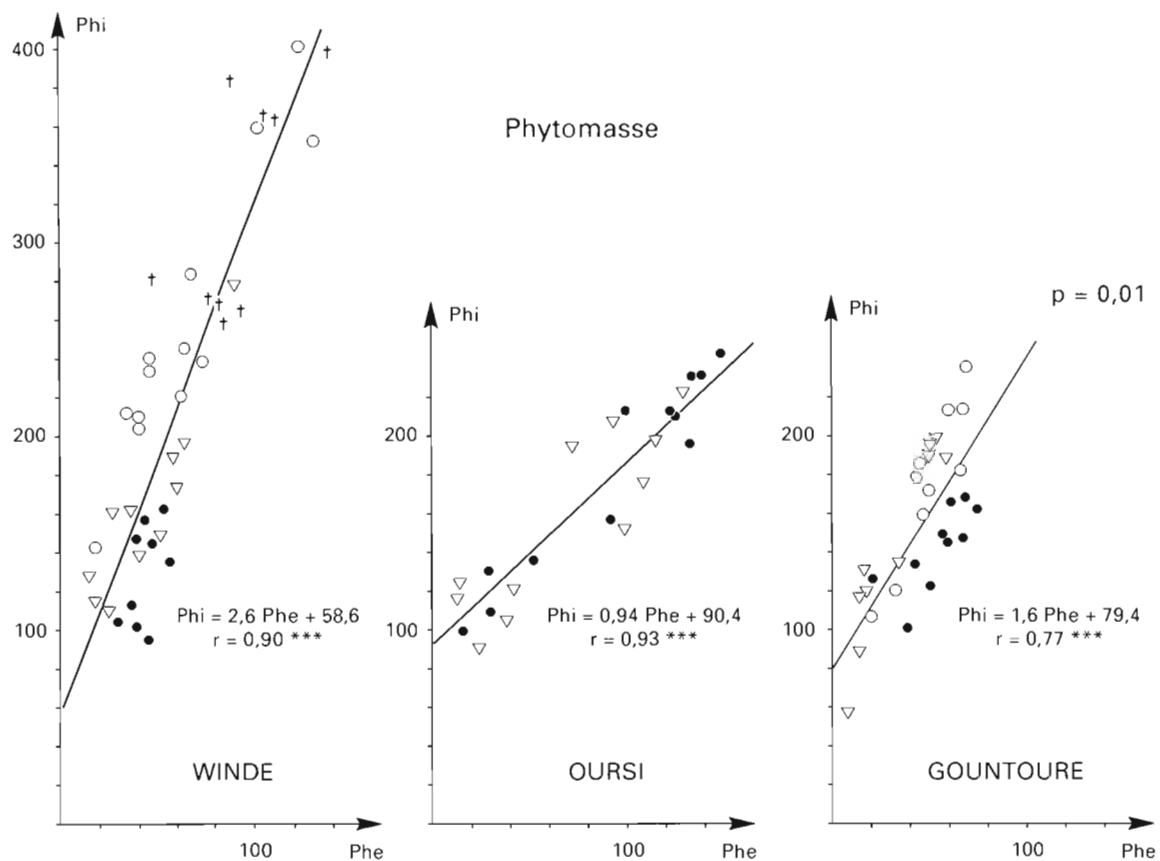


Figure 42 - Variations interannuelles (1978-1981) de la production des parcelles protégées (i) en fonction de celle des témoins (e) pour trois unités de végétation différemment exploitées. Les figurés correspondent aux observations des différentes années.

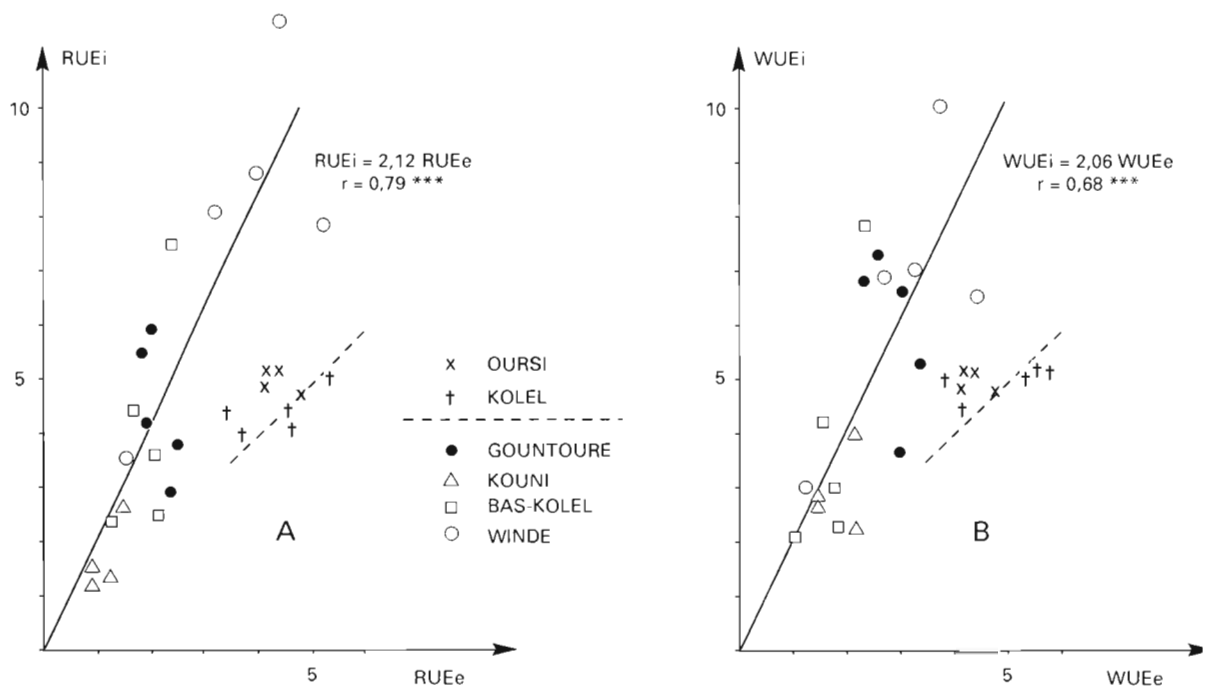


Figure 43 - Relation de l'efficacité en eau des parcelles protégées par rapport aux témoins.  $\text{kg}_{\text{MS}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$  de pluie (A) et de pluie infiltrée (B).

noter sur la figure 43 qui compare les variations de 1977 à 1981 de l'efficience en eau de la végétation entre parcelles protégées et parcelles témoins. 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'efficience 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.

L'effet de la protection de la végétation se manifeste aussi sur la strate ligneuse (tableau XLVII).

Après cinq ans de " protection ", il n'apparaît que 4 espèces nouvelles : *Boscia angustifolia*, *Grewia tenax* à Gountouré, *Maerua crassifolia*, *Boscia angustifolia* à Bas-Kolel. L'effectif des peuplements ligneux augmente au cours du temps à l'exception de celui de la station de Windé. Le plus fort accroissement est observé sur la dune d'Oursi (9 % par an environ). Celui-ci est dû notamment à *Maerua crassifolia*. À Kolel et Gountouré, les taux d'accroissement (4 à 5 % par an) sont similaires. Les espèces favorisées par la mise en défens sont les *Acacia* et *Balanites*, *Commiphora africana* et *Combretum aculeatum*. Les variations de l'effectif sont faibles à Bas-Kolel (1,5 % par an), mais des régénérations records ont pu être observées dans un bas glacis par TOUTAIN et PIOT (1980). En effet, le peuplement ligneux a plus que doublé en un an, avec l'apparition de cinq nouvelles espèces. À Windé le peuplement ligneux a régressé (- 6,6 % an<sup>-1</sup> de 1977 à 1984) malgré l'augmentation de l'effectif de *Combretum aculeatum*. Cette dynamique est due à une pullulation de rats (*Arvicanthis niloticus*) qui, en trouvant dans la parcelle protégée un biotope favorable, se sont abattus sur le peuplement ligneux (GROUZIS, 1988). Une évolution semblable a été décrite par POULET et POUPON (1978) dans le Ferlo sénégalais.

L'effet de la protection de la végétation sur la strate ligneuse se manifeste aussi sur la croissance et le développement. Certaines espèces (*Pterocarpus lucens*, *Grewia bicolor*, *Guiera senegalensis*, *Combretum aculeatum*) rejettent sur souche même lorsque celles-ci semblent mortes depuis quelque temps. D'autres espèces (*Maerua crassifolia*, *Combretum aculeatum*) que l'on trouve généralement surpâturées font preuve de capacités de croissance exceptionnelles. De plus, la floraison et la fructification sont favorisées, ce qui augmente les chances de reproduction à long terme de ces espèces.

TABLEAU XLVII  
Influence de la mise en défens sur la régénération de la strate ligneuse

Unités	Oursi			Kolel			Gountouré			Bas-Kolel			Windé		
	ni	nf	d	ni	nf	d	ni	nf	d	ni	nf	d	ni	nf	d
Effectifs	94	123	29	78	95	17	636	759	123	59	63	4	484	453	- 31
Variation en % ni	+ 30,9			+ 21,3			+ 19,3			+ 6,8			- 6,4		

ni : effectif au moment de la mise en place de la protection (avril, 1977 ou 1978 pour Oursi).

nf : effectif en octobre 1980.

d : nf - ni.

## LA RÉGÉNÉRATION ARTIFICIELLE

Dans diverses situations de l'Oudalan, voire du Sahel, il s'avère que, après une dégradation trop importante du milieu, la régénération spontanée de la végétation est impossible.

De nombreux travaux de réhabilitation des systèmes écologiques ont donc été réalisés dans la région sahélienne notamment par les organismes de développement et les organisations non gouverne-



mentales. Les évaluations de ces opérations ont cependant été peu nombreuses. Pour l'Oudalan, nous ferons appel aux réalisations de TOUTAIN (1977), TOUTAIN et PIOT (1980) dans la région d'Oursi et de LE MASSON (1980) pour la strate herbacée, ainsi qu'aux opérations de reboisement réalisées par l'Organisme régional de développement du Sahel dont le suivi nous a été confié (1).

Les aménagements menés dans la région d'Oursi, de Gorom-Gorom et de Markoy consistent en une simple action mécanique par travail superficiel du sol (sous-solage, hersage) et ont pour principal objectif d'augmenter la rugosité du sol, de favoriser l'infiltration afin de permettre la fixation des semences, leur levée et leur développement. Les résultats obtenus par les auteurs précédemment cités montrent qu'un léger travail du sol autorise l'installation de la végétation herbacée à l'emplacement du passage des outils et une augmentation de production localisée allant de 20 à 100 g<sub>MS</sub>.m<sup>-2</sup>. De plus, de nombreux ligneux (*Acacia*, *Ziziphus*, *Balanites*...) lèvent sur les lignes de sous-solage.

Des aménagements appropriés permettent donc à des systèmes écologiques même très dégradés (la majorité des expérimentations réalisées par TOUTAIN (1977) et LE MASSON (1980) portent sur des milieux dénudés) de se reconstituer. Cette caractéristique suggère que le potentiel biologique existe et que l'amélioration de certains facteurs physiques suffit à sa manifestation. Ces auteurs rapportent cependant qu'un certain nombre de mesures doivent être prises en compte dans ces aménagements. La première est d'éviter un labour trop serré afin de réduire les risques d'érosion. La seconde consiste à protéger pendant 2 à 3 ans les aménagements contre le pâturage afin de ne pas perdre le bénéfice des effets de la première année et de favoriser la régénération ligneuse. En effet, un des principaux inconvénients en situation non protégée est le manque de pérennité des améliorations observées.

Pour ce qui concerne les reboisements effectués dans la région de Markoy (Ziguiberi : 18 ha ; Bamgel : 9 ha ; Zindoboum : 18 ha), le tableau XLVIII rapporte les résultats présentés par GROUZIS (1988 b).

Ils montrent que le taux de réussite des trois stations confondues se situe à environ 60 %. On observe cependant une assez grande variabilité puisque les résultats obtenus à Zindoboum sont largement supérieurs à ceux des deux autres stations. Ces différences sont notamment dues à la proportion des espèces qui ont un comportement particulier. Il s'avère en effet que *Acacia seyal* (90,1 %) est plus performant que *Acacia adansonii* (83,6-85,5 %), *Prosopis juliflora* (72 %), *Acacia senegal* (43,4 %), *Acacia raddiana* (48,9-26,8 %).

De plus, les espèces allochtones peuvent être considérées comme moins performantes que les espèces autochtones, soit à cause de leur taux de mortalité plus élevé (30 % contre 13 % à Zindoboum, 95 % contre 53 % à Bamgel), soit à cause de leur forte sensibilité à l'égard des prédateurs (rongeurs, criquets...).

TABLEAU XLVIII

Évaluation des aménagements (travail du sol et reboisement) dans la région de Markoy

Station	Taux de reprise (1) (oct. 81) tp %	Taux de réussite (2) (nov. 82) ts %
Ziguiberi	79,4 ± 1,7 (2320)	57,8 ± 2,1 (2295)
Bamgel	74,6 ± 1,8 (2449)	44,1 ± 2 (1243)
Zindoboum	90,6 ± 1,2 (2505)	82,3 ± 2,2 (1253)

% : taux ± intervalle de confiance pour p = 0,05 suivi de l'effectif de l'échantillon.

(1) tp % : nombre d'individus vivants en octobre 1981/nombre d'individus plantés en juillet 1981.

(2) ts % : nombre d'individus vivants en novembre 1982/nombre d'individus plantés en juillet 1981.

Préparation du sol : sous-solage croisé (distance des raies 6 m, profondeur 20 cm).

(1) Résultats des recherches menées dans le cadre d'accords conclus entre l'ORD du Sahel, le Fonds européen de développement et l'ORSTOM.

Bien qu'il soit nécessaire d'assurer un suivi sur de plus nombreuses années avant de tirer des conclusions définitives, ces aménagements démontrent bien les possibilités de reconstitution du milieu : augmentation du recouvrement herbacé dans les raies de sous-solage, assez bonne réussite du reboisement. La pérennité de ces aménagements nécessite toutefois une protection vis-à-vis des troupeaux pendant les premières années de leur installation.

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 de faibles niveaux de productivité.

## SEUILS DE RUPTURE ET NOUVEAUX ÉQUILIBRES

Dans un contexte climatique plutôt défavorable et malgré des conditions de protection imparfaites, 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 ;
- une élévation du niveau de production 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...) où la régénération naturelle par protection ou mise en repos temporaire n'est plus possible en raison de la faiblesse du potentiel de régénération, il a été possible de montrer qu'un travail du sol associé ou non à un reboisement permet de restaurer le milieu. Tout comme les travaux de BOUDET (1977), FLORET (1981), 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.

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 devrait 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. Le 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 44.

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). Cet équilibre correspond à un état stationnaire qui se situe à un niveau élevé de l'échelle (e) et se traduit par une structure de la végétation (diversité floristique, organisation en mosaïque, niveau de production élevé...). Il existe peu ou pas d'exemple de cet état stationnaire car les milieux naturels au Sahel font défaut, mais des états comparables ont été décrits par BOUDET (1983) et BENOIT (1984) 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 approcherait aussi (voir p. 129 et suivantes, figures 40, 41 et 42).

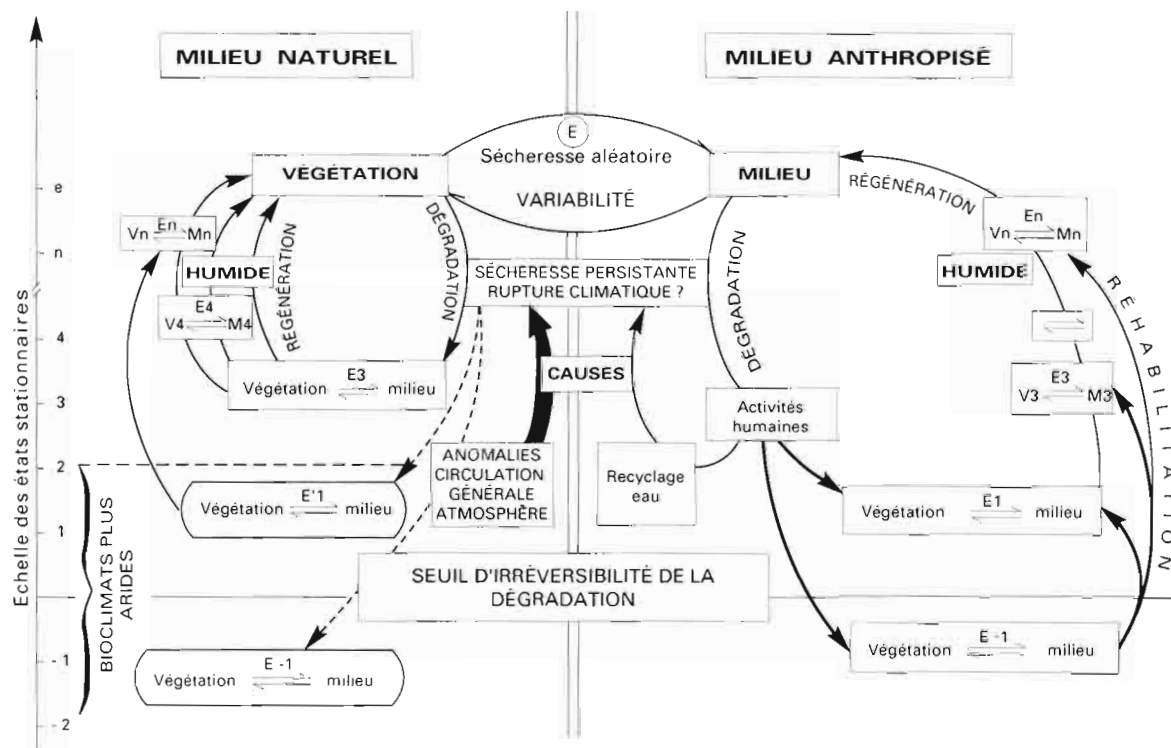


Figure 44 - Modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens.

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 stationnaires intermédiaires (E4, En...). Les étapes intermédiaires du cheminement des images de la végétation dans les expériences de mise en défens pourraient illustrer ces états (voir p. 129 et figure 40).

En milieu anthropisé, l'itinéraire est identique. Cependant le nouvel équilibre se situe à un niveau beaucoup plus bas de l'échelle des états stationnaires (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.

L'apparition et l'extension de ces zones totalement désertiques (lambeaux de glacis très érodés, piémonts sableux stériles creusés de ravines, dunes vives...) sont encore limitées. Mais ce sont des indices graves de désertification qui doivent être surveillés.

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...).

Bien que certains auteurs aient montré que la déforestation altère localement plusieurs paramètres climatiques (GORNITZ et NASA, 1985), il reste à démontrer son impact sur la circulation régionale et les conséquences au niveau de la pluviosité. D'autres recherches (COUREL, 1986) conduisent à penser que les activités humaines ne constituent pas le facteur déterminant de la sécheresse au Sahel contrairement aux hypothèses de CHARNEY (1975). Les causes de la sécheresse relèvent davantage d'anomalies de la circulation générale de l'atmosphère. De nombreux exemples attestent cependant que l'homme, par ses activités actuelles et historiques, engendre au niveau du substrat édaphique des contraintes permanentes qui viennent accentuer les effets du risque de sécheresse de plus en plus élevé ces dernières années, et qui amènent les systèmes écologiques à un niveau de dégradation tel que les mécanismes d'adaptation à l'aridité ne peuvent plus fonctionner. La régénération naturelle est alors rendue difficile, voire impossible.