

*Étude de quelques brousses  
tigrées sahéliennes :*  
structure, dynamique, écologie

## INTRODUCTION

CLOS-ARCEDUC a employé pour la première fois, en 1956, l'expression «brousse tigrée» pour désigner l'aspect singulier, visible sur photographies aériennes, de certaines formations végétales sahéliennes contractées, où l'alternance en parallèle de bandes boisées sombres avec des bandes dénudées claires évoquait le pelage d'un tigre. Ces formations arbustives xérophytes et herbeuses couvrent une grande partie des zones sahélo-saharienne et sahélienne de l'Afrique occidentale et de l'Afrique orientale, mais elles sont également présentes en Australie et en Amérique centrale (cf. cet ouvrage, CORNET : 245-265) ; elles ont donné lieu à quelques travaux (CLOS-ARCEDUC, 1956 ; AUDRY et ROSSETI, 1962 ; BOALER et HODGE, 1962 ; BOULET *et al.*, 1964 ; CLOS-ARCEDUC, 1964 ; HEMING, 1965 ; WHITE, 1970 ; WICKENS et COLLIER, 1971 ; GALLAIS, 1975 ; JANKE, 1976 ; LEPRUN, 1978, 1979 ; CORNET *et al.*, 1983 ; LEPRUN, 1983 ; etc.). Parmi les différents facteurs incriminés dans la formation de ces bandes de végétation alternées, il a été évoqué successivement l'action des termites, la péjoration climatique progressive de la zone sahélienne et les années de sécheresse calamiteuse, le surpâturage, le drainage réduit, certaines conditions édaphiques, etc. Les causes et leurs effets ont été souvent confondus. Il apparaît opportun de tenter une synthèse de nos recherches sur ces formations qui constituent des écosystèmes originaux dans lesquels les relations sol-eau- plante ont une importance prépondérante.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données présentées ici proviennent de travaux sur le terrain dans la boucle du fleuve Niger, dans la partie septentrionale du Mali et dans le nord du Burkina Faso, durant cinq années consécutives ; ils s'inscrivaient dans le cadre d'une action complémentaire coordonnée (ACC) de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST), intitulée *Lutte contre l'aridité en milieu tropical*. Les données puisent également dans les observations recueillies au cours de nombreuses tournées effectuées dans toute la frange sahélienne, de la Mauritanie jusqu'au Niger, de 1967 à 1979. La méthode d'étude de la toposéquence a été utilisée pour rechercher les relations édaphiques et écologiques des brousses tigrées. Dans le cas présent, la toposéquence est une ligne de fosses pédologiques et de relevés de la végétation, qui, suivant la ligne de plus grande pente, joint le point haut de l'interfluve élémentaire au point le plus bas, en recoupant perpendiculairement une bande nue et une bande boisée.

Les 7 toposéquences étudiées s'échelonnent suivant un gradient latitudinal entre les 16° et 14° degrés de latitude nord. L'étude de chacune de ces toposéquences, sur le terrain et au laboratoire, comprend :

- la description des facteurs du milieu (localisation, orientation, pente, climat et, en particulier, pluviométrie et direction des vents, nature de la roche, activité biologique, etc.) ;

- un relevé, le plus complet possible, des espèces végétales ;

- la description détaillée des profils pédologiques creusés au niveau de chaque faciès de la coupe ;

- le prélèvement et les analyses physique et chimique, qui comptent environ 25 déterminations pour chaque horizon du sol. La fabrication de lames minces et l'examen micromorphologique de certains échantillons sont effectués. Le profil topographique de la toposéquence est levé à l'aide d'un niveau à bulle ; les hauteurs et les distances mesurées ont une précision de l'ordre du millimètre.

Les 7 séquences choisies, parmi la douzaine de celles qui ont été étudiées et rangées dans l'ordre de pluviométrie croissante et de latitude décroissante, sont les suivantes :

- GOS II, située à 17,5 km de Gossi, en direction de Gao, à 15° 49' de latitude nord et 1° 17' 10" de longitude ouest, sur des schistes argileux zonés. Cette station, qui reçoit un peu plus de 200 mm de pluies par an en moyenne, est orientée NE-SO ; étendue sur 82 m avec une dénivellation de 1,3 m entre son point le plus haut et son point le plus bas, elle comporte 16 fosses pédologiques (fig. 1) ;

- GOS III, située à 2,6 km de Gossi, en direction de Hombori, à 15° 16' 10" de latitude nord et 1° 10' 40" de longitude ouest, sur des schistes gréseux fins ferruginisés (formation Y1b de Reichelt, 1972). La pluviométrie y est la même qu'à GOS I ; cette station, orientée NNE-SSO, d'une longueur totale de 77,4 m avec une dénivellation de 4,05 m, compte 10 fosses pédologiques (fig. 2) ;

- ANS, située à 119 km de Ansongo, en direction de Menaka, à 15° 53' 30" de latitude nord et 1° 35' 15" de longitude ouest, sur les grès argileux cuirassés continental terminal, est soumise à une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 225 mm (Menaka). Orientée NNO-SSE, d'une longueur de 171,6 m avec une dénivellation de 2,25 m, elle comporte 4 fosses pédologiques ;

- NDA, située à 43 km de Gossi, sur la piste de N'Daki, à 15° 34' 40" de latitude nord et 1° 5' de longitude ouest, sur la formation schisteuse Y1b de Reichelt, reçoit environ 300 mm de pluies par an. Orientée ENE-OSO, elle s'étend sur 165 m, accuse une dénivellation de 1,5 m et comporte 4 fosses pédologiques (fig. 3) ;

- KER, située au sud de la piste Hombori-Douentza, à proximité du village de Kerano, à 14° 58' 40" de latitude nord et 2° 39' 30" de longitude ouest, sur schistes micassés entièrement cuirassés, reçoit une pluviométrie annuelle de l'ordre de 450 mm. L'orientation de la coupe est NNE-SSO ; d'une longueur de 188 m avec une dénivellation de 1,65 m, la station comporte 4 fosses (fig. 4) ;

- ZAM I et II, situées à 11 km au nord de la mare d'Oursi, à 14° 46' 20" de latitude nord et 0° 30' 10" de longitude ouest, sur les grès de bordure (Ducelier, 1963), cuirassés, reçoivent une pluviométrie annuelle d'environ 450 mm et sont orientées SE-NO. Respectivement, leurs longueurs sont de 69,5 et de 140 m, et leurs dénivellations de 0,60 et de 0,85 m ; ZAM I comporte 4 fosses et ZAM II, 5 (fig. 5) ;

- TEN est située au sud de Douentza, près du village de Teri, à 96 km de Korro, à 14° 25' 30" de latitude nord et 2° 36' de longitude ouest, sur les grès cuirassés du continental terminal. La coupe est orientée NNO-SSE ; la station a une longueur de 84 m, une dénivellation de 1,35 m, et comporte 4 fosses (fig. 6).

Toutes ces toposéquences sont situées au Mali, à l'exception de ZAM I et II qui se trouvent en territoire burkinabé.

## RÉSULTATS

## Toposéquence GOS II (fig. 1)

## ORGANISATION MORPHOLOGIQUE

On peut subdiviser cette toposéquence en 3 parties distinctes :

- une microdune sableuse alignée en cordon, qui constitue le point haut, colonisée par un couvert herbacé ;
- un versant ou glacis nu à surface du sol plus limoneuse ou argileuse glacée ;
- une zone basse qui forme collature limoneuse à argilo-sableuse boisée et qui butte sur une termitière.

## PÉDOLOGIE

La microdune est constituée de sols minéraux bruts sableux d'apport sans différenciation en horizons, mais formés de couches lamellaires de sables (profils 20a et b, 20, 21). Le glacis nu se compose de sols bruns subarides tronqués à griffes d'érosion et petits gravillons en surface dont le matériau des horizons profonds est en discontinuité sur les schistes. Ce matériau porte les restes d'une ancienne et intense activité biologique (vieilles racines, nids de termites abandonnés). La collature supporte des sols peu évolués, à faciès hydromorphe, assez bien différenciés et structurés.

## VÉGÉTATION

La microdune est exclusivement colonisée par une végétation de graminées éphémères. Le glacis est totalement dépourvu de végétation vivante, mais il possède quelques chicots d'arbustes morts. La collature est le siège d'une bande boisée de brousse tigrée orientée perpendiculairement à la direction de la toposéquence et composée de graminées vivaces et d'arbustes hauts. La termitière située au niveau des fosses 29b, c, d, est issue de la coalescence d'édifices vivants et morts du genre *Bellicositermes*.

Collature (profils 29 et 29b)	Microdune (profil 20)	
STRATE ARBUSTIVE	STRATE HERBACÉE	
(Recouvrement 20 %)	(Recouvrement 50 %)	
<i>Acacia erhenbergiana</i> 3	<i>Schoenefeldia gracilis</i> 3	
<i>Acacia ataxantha</i> 1	<i>Aristida mutabilis</i> 2	
<i>Acacia laeta</i> 1	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> +	
<i>Acacia raddiana</i> 1	<i>Cenchrus biflorus</i> +	
<i>Ziziphus mauritiana</i> +	<i>Leptadenia pyrotechnica</i> +	
<i>Balanites aegyptiaca</i> +	<i>Tetrapogon cenchriformis</i> +	
<i>Commiphora africana</i> +	<i>Chloris prieuri</i> +	
<i>Boscia senegalensis</i> +	<i>Eragrostis pilosa</i> +	
STRATE HERBACÉE		
(Recouvrement 40 à 50 %)		
<i>Andropogon gayanus</i> 2		
<i>Panicum laetum</i> 2		
<i>Schoenefeldia gracilis</i> 2		
<i>Zornia glochidiata</i> +		
<i>Eragrostis pilosa</i> 2		



PHOTO 1 - Toposéquence GOS II. Vue amont. A : microdune sableuse ; C : glacis nu.

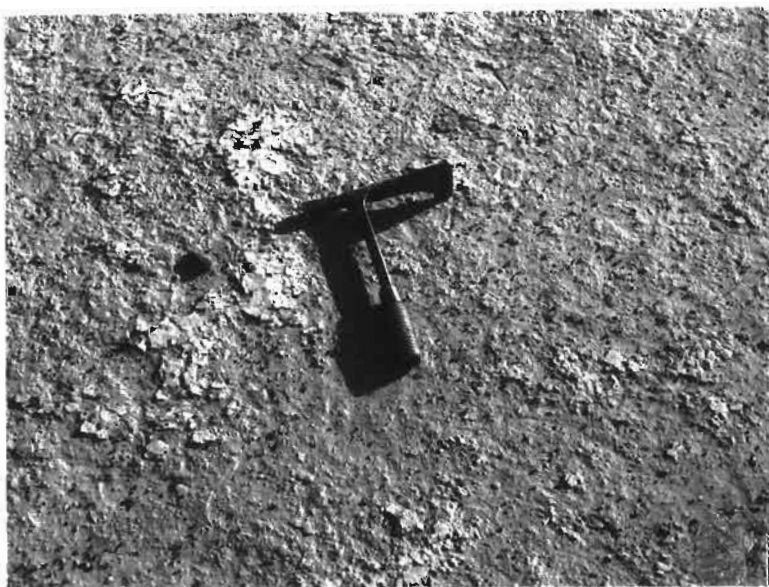


PHOTO 2 - Toposéquence GOS II. Détail de la surface du glacis nu.

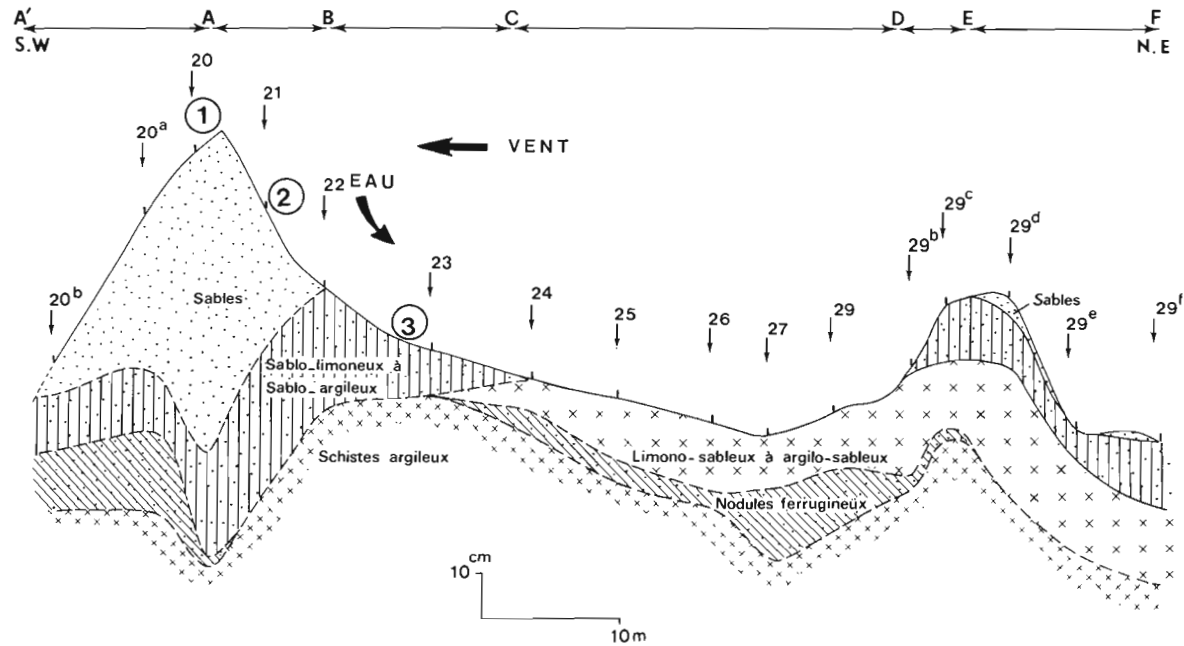


FIGURE 1 - Chaîne de sols GOS II, brousse tigrée.

## Toposéquence GOS III (fig. 2 et photo 3)

### ORGANISATION ET PÉDOLOGIE

Cette toposéquence a été prolongée et elle comprend une microdune centrale, sans différenciation pédologique notable, qui sépare 2 zones dépressives, l'une nue, l'autre boisée, et 2 affleurements rocheux extrêmes. Les 2 zones dépressives sont constituées de sols peu évolués structurés sablo-argileux à argilo-sableux. Le sol du glacis dénudé ne possède pas d'horizon de surface, mais des horizons profonds perturbés par une faune aujourd'hui disparue (galeries, turricules de vers, etc.) et riches en débris racinaires décomposés.

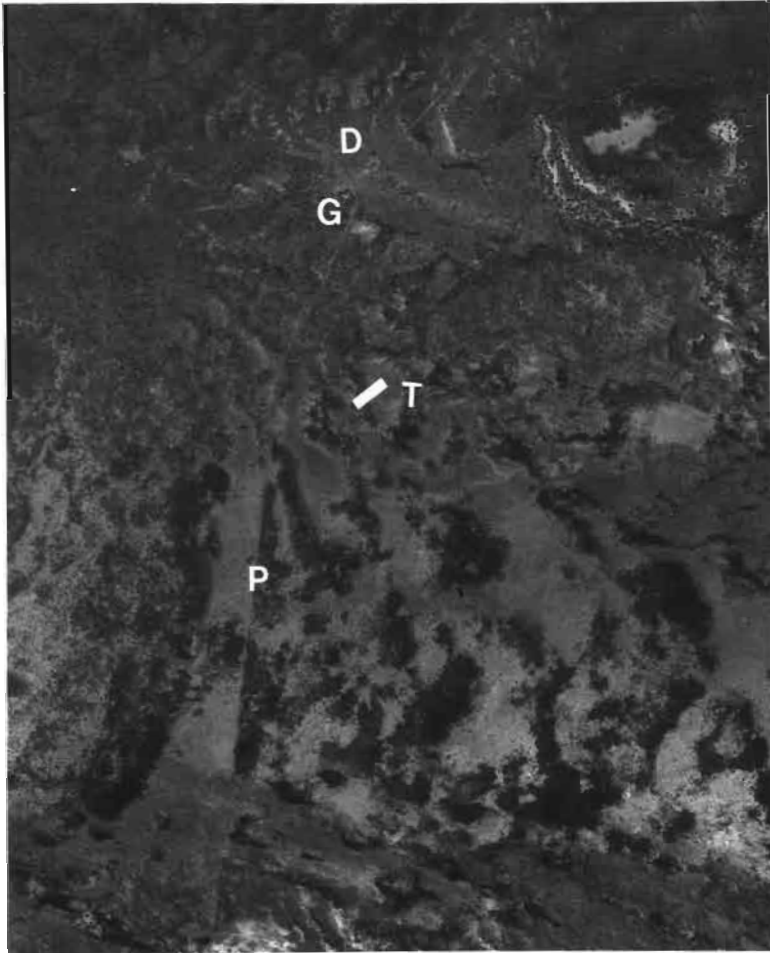


PHOTO 3 - Photographie aérienne de la toposéquence GOS III. D : dunes sableuses. G : village de Gossi. T : toposéquences ; P : piste Hombori-Gossi.  
Cliché : IGN, 095 ND 30 xxiii

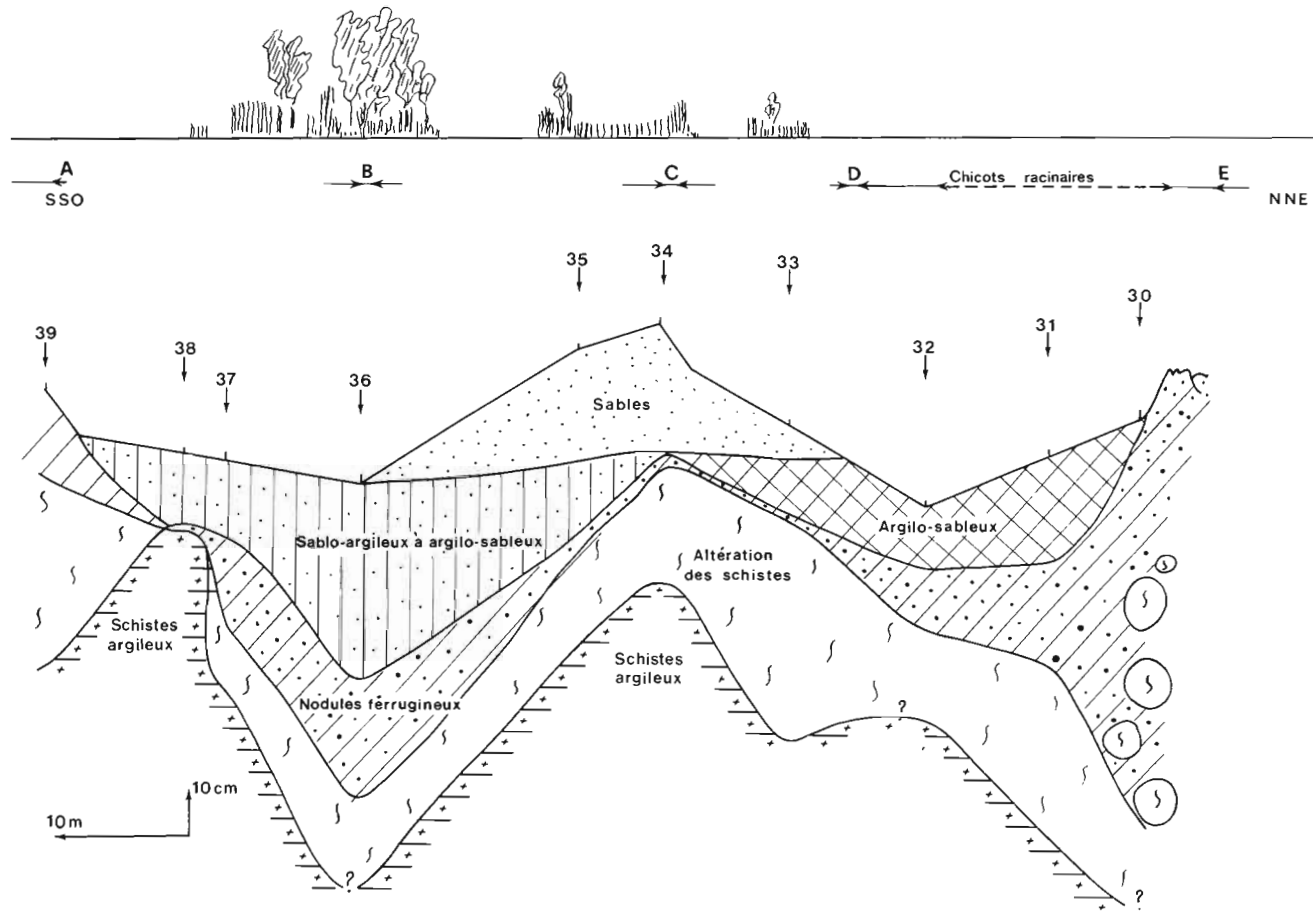


FIGURE 2 - Chaîne de sols GOS III, brousse tigrée.

## VÉGÉTATION

La microdune sableuse porte une strate herbacée dense : *Aristida mutabilis*, *A. funiculata*, *Schoenefeldia gracilis* et quelques petits *Acacia erhenbergiana* morts. Sur le glacis nu, on ne relève que la présence de rares chicots racinaires et de dômes termitiques abandonnés, en partie érodés et déterrés. Dans la collature, se localise la strate herbacée (*Panicum laetum*, *Aristida funiculata*, *Andropogon gayanus*, etc.) et arbustive dense (*Acacia senegal*, *A. erhenbergiana*, *Grewia flavescens*, etc.) de la bande boisée dont le recouvrement est supérieur à 100 %.

## Toposéquence ANS

### ORGANISATION ET PÉDOLOGIE

Les bandes boisées sont courtes, contractées du fait des ondulations du modelé des grès cuirassés. Le point haut est représenté par un affleurement de cette cuirasse sur lequel repose un mince placage sableux éolien. La bande nue intermédiaire présente une surface glacée, dure, à petits gravillons épars. Le sol, de 25 cm de profondeur, qui repose en discontinuité sur la cuirasse ferrugineuse, est peu évolué argilo- à limono-sableux. La cuvette boisée est constituée d'un sol profond de 90 cm, très bien structuré, argileux, lourd et humide en profondeur de type peu évolué hydromorphe.

### VÉGÉTATION

Des relevés phytosociologiques complets ont été effectués (COULIBALY, 1979). Nous nous bornerons à citer les principales espèces. Sur le placage sableux, une strate herbacée d'un recouvrement de 80 % comprend :

- *Aristida mutabilis*, 3 ;
- *Schoenefeldia gracilis*, 2 ;
- *Dactyloctenium aegyptium*, + ;
- *Cenchrus biflorus*, + ;
- *Pennisetum violaceum*, + ;
- *Eragrostis ciliaris*, + ;
- *Alysicarpus ovalifolius*, 1 ;
- *Tribulus terrestris*, 1 ;
- *Cassia torra*, + ;
- *Zornia glochidiata*, + ;
- 2 jeunes arbustes de 20 à 30 cm de haut :
  - *Maerua crassifolia*,
  - *Commiphora africana*.

Le centre de la zone boisée comprend une strate herbacée de 60 % de recouvrement :

- *Aristida adscensionis*, + ;
- *Amaranthus* spp., 1 ;
- *Tribulus terrestris*, 1 ;
- *Chloris prierii*, + ;
- *Cyperus rotundus*, 1 ;
- *Panicum laetum*, 1 ;
- *Achyranthes aspera*, 3 ;
- *Dactyloctenium aegyptium*, + ;
- *Andropogon gayanus*, +.

Une strate arborée et arbustive de 30% de recouvrement constituée de :

- *Acacia senegal*, 1 ;



- *Commiphora africana*, 1 ;
- *Grewia villosa*, 1 ;
- *Boscia senegalensis*, 1 ;
- *Balanites aegyptiaca*, + ;
- etc.

## Toposéquence NDA (fig. 3)

### ORGANISATION

Elle comprend une zone basse boisée AB argilo-limoneuse, une zone nue BC de même texture, à surface pelliculaire écaillée blanche qui comporte une troncature érosive en contrebas de la microdune, une microdune sableuse CD de 1 m d'amplitude et une nouvelle zone boisée DE.

### LES SOLS

L'examen de la coupe de la figure 3 indique que toute la séquence est recouverte d'un horizon argilo-sableux nodulaire qui provient en grande partie des schistes cuirassés sous-jacents démantelés. En revanche, seule la partie CE comporte un mince horizon limoneux recouvert par des sables peu cohésifs. Les sols de la zone déprimée sont des sols bruns subarides structurés et solonetziques. Les sols de la zone amont sont des sols bruns subarides tronqués recouverts par des sols peu évolués sur sables éoliens meubles.

### LA VÉGÉTATION

Les relevés suivants indiquent les compositions floristiques très différentes des 2 zones, argileuse basse et sableuse haute.

Zone basse (profil 1)		Microdune (profil 3)	
STRATE ARBORÉE ET ARBUSTIVE (Recouvrement 40 %)		STRATE HERBACÉE (Recouvrement 80 %)	
<i>Grewia bicolor</i>	3	<i>Aristida mutabilis</i>	3
<i>Dichrostachys cinerea</i>	1	<i>Schoenefeldia gracilis</i>	2
<i>Commiphora africana</i>	+	<i>Chloris prieuri</i>	+
<i>Grewia flavescens</i>	1	<i>Tragus racemosus</i>	+
<i>Acacia laeta</i>	+	<i>Cenchrus biflorus</i>	+
<i>Boscia senegalensis</i>	+	<i>Tetrapogon cenchriformis</i>	+
<i>Maerua crassifolia</i>	+	<i>Blepharis linearifolia</i>	1
		<i>Corchorus tridens</i>	+
		<i>Borreria filifolia</i>	+
		<i>Zornia glochidiata</i>	+
STRATE HERBACÉE (Recouvrement 30 %)			
<i>Tephrosia purpurea</i>	+		
<i>Achyranthes aspera</i>	1		
<i>Aristida mutabilis</i>	2		
<i>Panicum laetum</i>	3		
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	+		
<i>Eragrostis pilosa</i>	+		
<i>Andropogon gayanus</i>	+		

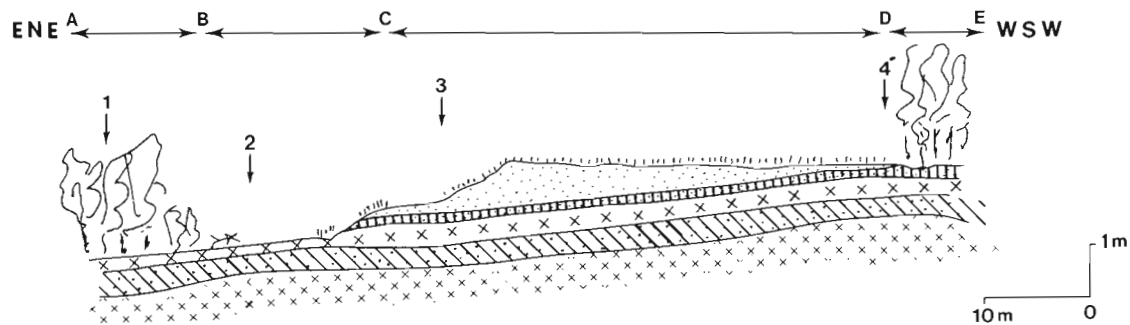


FIGURE 3 - Chaîne de sols NDA, brousse tigrée.

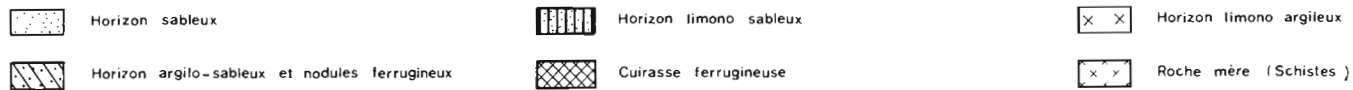
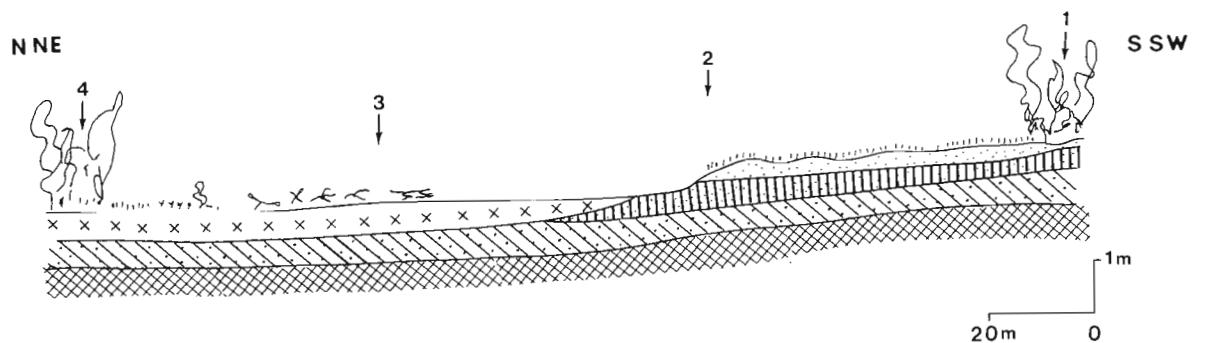


FIGURE 4 - Chaîne de sols KER, brousse tigrée.

## Toposéquence KER (fig. 4)

### ORGANISATION

Elle rappelle beaucoup celle de la toposéquence précédente : mêmes orientations des rides sableuses et des bandes boisées, mêmes emplacements des bandes boisées nues et sableuses, mêmes supports pédologiques, même troncature érosive, même inclinaison du substrat cuirassé. Les seules différences notables concernent la largeur de la zone nue à nombreux arbustes morts et la présence mieux marquée d'une zone de passage à espèces herbacées et arbustives pionnières entre cette dernière et la zone boisée.

### VÉGÉTATION

Elle est également très semblable. La ride sableuse est colonisée par des graminées, parmi lesquelles *Schoenefeldia gracilis* domine à plus de 80 %, une germination d'arbustes (*Boscia senegalensis*) et quelques repousses mortes. Dans la bande boisée apparaissent des ligneux nouveaux, *Combretum micranthum* et *Pterocarpus lucens*, et de nombreuses graminées hautes et très vivaces malgré la date avancée de l'observation en saison sèche : *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*. On note la présence de termitières en activité ; l'espèce en cause appartient au genre *Bellicositermes*.

## Toposéquences ZAM I et II (fig. 5 et 6)

### ORGANISATION ET PÉDOLOGIE

Les bandes nues et boisées s'élargissent beaucoup, mais elle ne sont présentes que sur les reliefs tabulaires sans exutoire. Les bourrelets sableux persistent, mais ils s'aminçissent ; les bandes nues sont souvent des affleurements de cuirasses ferrugineuses à gravillons épars. Les sols, plus épais, s'assimilent à des sols peu évolués à faciès ferrugineux, sur les glacis nus ou sur les placages sableux, et à des sols peu évolués hydro-morphes à pseudo-gley, dans les bandes boisées.

### VÉGÉTATION

Sur les voiles sableux, prolifèrent *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Zornia glochidiata*, quelques *Schoenefeldia* et quelques repousses de ligneux vers l'aval. La strate ligneuse des bandes boisées comprend *Combretum micranthum*, *Boscia senegalensis* et *Boscia angustifolia*, *Acacia ataxacantha*, *Balanites aegyptiaca*, *Maerua crassifolia*, *Commiphora africana*, *Pterocarpus lucens*, *Grewia bicolor*, *Guiera senegalensis*. Les principales graminées sont : *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicellatum*. Les grandes termitières rouges (*Bellicositermes bellicosus*) en activité sont nombreuses dans la zone boisée, mais elles sont abandonnées et érodées au milieu de la bande nue.

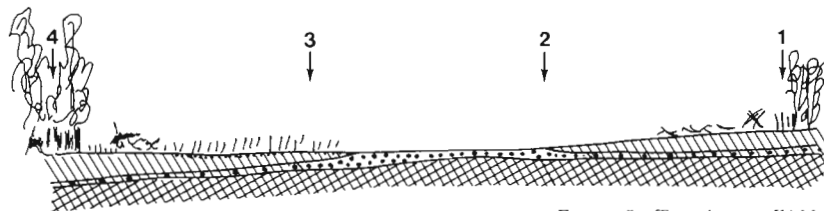


FIGURE 5 - Toposéquence ZAM I.

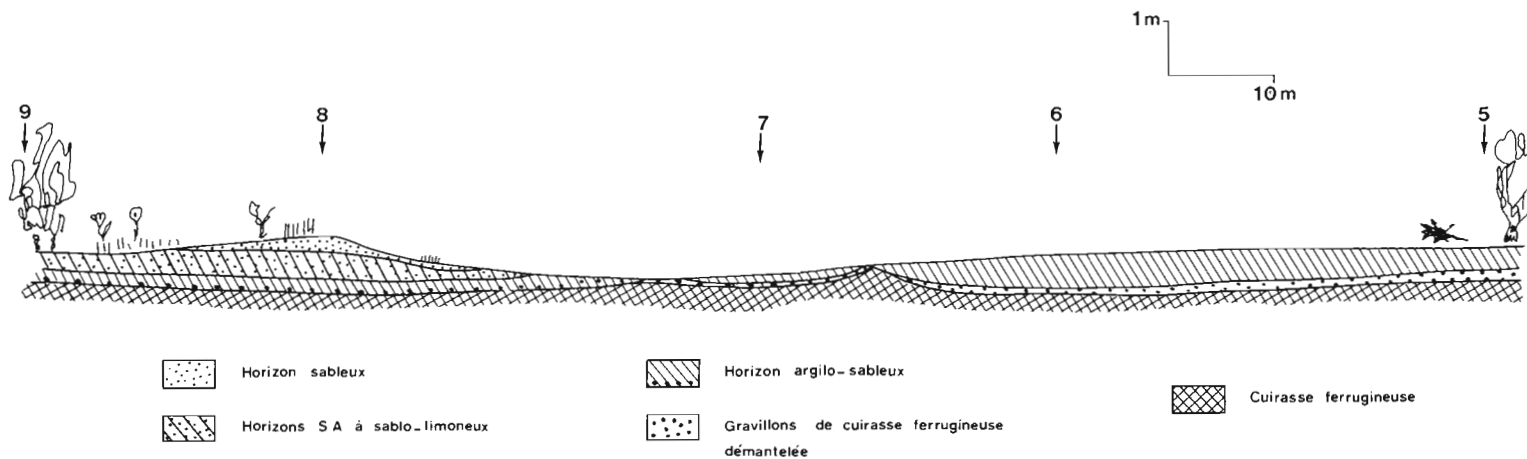


FIGURE 6 - Toposéquence ZAM II.

## Toposéquence TEN ( fig. 7)

### ORGANISATION

L'organisation n'est plus celle en bandes alternées des brousses tigrées précédentes ; elle se présente sous forme de taches ou de ponctuations d'arcs concentriques liées aux dépressions circulaires du modelé des grès cuirassés. Le passage entre les bandes allongées et les bandes concentriques est rapide, mais visible ; les bandes allongées se raccourcissent, leurs extrémités s'infléchissent, puis se courbent. Ce passage se produit lorsque l'épaisseur du matériau meuble (sables, sols sablo-argileux) situé au-dessus de la cuirasse diminue. Les replats sont constitués par la cuirasse affleurante ou par des gravillons issus de son démantèlement. Les dépressions circulaires de 30 à 50 m de diamètre et de 1 à 2 m de profondeur sont dues aux effondrements de la cuirasse en ses points de faiblesse par soutirage interne (LEPRUN, 1979).

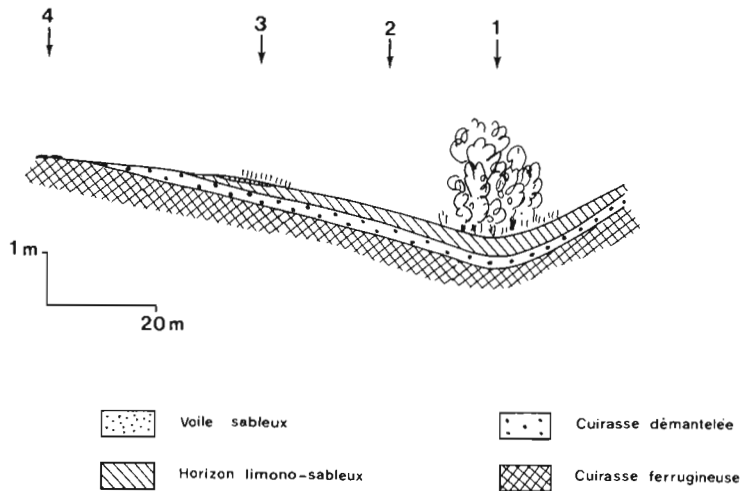


FIGURE 7 - Toposéquence TEN.

### LES SOLS

Réduits à leur plus simple expression lorsque la cuirasse affleure (sols minéraux bruts), les sols sont minces lorsque la cuirasse est démantelée (sols peu évolués gravillonnaires) et ils ne deviennent épais que dans le fond des dépressions. Le matériau de ces sols, peu évolués à faciès ferrugineux, provient de l'accumulation des éléments fins issus des zones hautes et entraînés par les eaux de ruissellement. Les voiles sableux sont minces ou absents.

## VÉGÉTATION

Les relevés floristiques sont les suivants :

STRATE ARBORÉE ET ARBUSTIVE (Recouvrement 60 %)		STRATE HERBACÉE (Recouvrement 10 %)	
<i>Combretum micranthum</i>	3	<i>Loudetia togoensis</i>	3
<i>Acacia ataxacantha</i>	2	<i>Schoenefeldia gracilis</i>	2
<i>Grewia bicolor</i>	1	<i>Eragrostis tremula</i>	+
<i>Pterocarpus lucens</i>	1	<i>Schizchyrium</i> spp	+
<i>Piliostigma reticulatum</i>	1	<i>Aristida mutabilis</i>	+
		<i>Zornia glochidiata</i>	1
		<i>Brachiaria xantholeuca</i>	+
		<i>Cassia mimoscoides</i>	+
STRATE HERBACÉE (Recouvrement 40 à 50 %)			
<i>Andropogon gayanus</i>	3		
<i>Panicum laetum</i>	1		
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	2		
<i>Eragrostis tremula</i>	1		

## Les analyses pédologiques et leur utilisation

Ces analyses sont trop nombreuses pour figurer dans cet article. Toutefois, pour illustrer la composition différente des sols et des matériaux superficiels des 3 zones distinctes (microdune, glacis et dépression), communes à toutes les toposéquences étudiées, 2 séries de résultats analytiques seront présentées :

- l'une, qui a trait à la toposéquence GOS II, est consignée dans le tableau I ;
- l'autre est traitée et interprétée par une analyse en composantes principales (TOMASSONE, 1975) (tabl. II, III, IV, V, VI et fig. 7 et 8).

Le tableau I fournit quelques déterminations analytiques qui permettent de différencier l'horizon de surface de 0 à 20 cm de 3 zones particulières de la toposéquence GOS II (fig.1) :

- la zone 1, sur la microdune, fosse 20 ;
- la zone 2, sur la partie amont du glacis, fosse 22 ;
- la zone 3, sur la partie aval du glacis, fosse 23.

Les résultats des analyses de la tranche superficielle des sols de la séquence GOS II (fig. 1), regroupés dans le tableau I, mettent en évidence l'entraînement par les eaux de ruissellement des éléments fins et des éléments nutritifs de l'amont vers l'aval.

À partir des données du tableau II, ont été calculés les paramètres statistiques élémentaires : moyennes et écarts-types de toutes les variables (tabl. III), et la matrice des corrélations de ces variables entre elles (tabl. IV).

On aboutit alors, par l'étude des individus (tabl. V) et des variables (tabl. VI), au cercle des corrélations de la figure 8. On vérifie, grâce à la grandeur et à la direction des vecteurs des différentes variables, que l'azote (N) est très bien représenté dans le plan principal des axes 1 et 2 ( $r^2 = 0,89$ ) ; que l'argile (arg), la porosité (por), la matière organique (mo), le pF 4,2 (p4,2) et la capacité d'échange (t) sont bien représentés ( $0,65 < r^2 < 0,80$ ) ; que le phosphore (pho) et les sables grossiers (sgr) sont moyennement représentés ( $r^2 < 0,60$ ) ; que l'eau utile ( $h_2o$ ) est médiocrement représentée ( $r^2 < 0,40$ ).

L'axe 1 horizontal, sur lequel se lie la quasi-totalité des variables et en particulier la granulométrie et les caractères chimiques, peut être désigné « axe granulométrie ».

Tableau I - Résultats analytiques de l'horizon de surface de 3 zones de la toposéquence GOS II (fig. 1)

Déterminations	Microdune (1)	glacis nu amont (2)	glacis nu aval (3)
Argiles + limons fins %	3,4	47,4	78,1
Limons grossiers %	0,4	2,6	4,1
Sables %	96,1	47,3	15,9
Carbone %	0,70	4,44	3,40
Azote %	0,18	0,55	0,46
Somme des cations méq/100 g	0,86	3,22	12,64
Phosphore total %.	0,16	0,31	0,64

Tableau II - Données d'analyse de l'horizon de surface des sols de toutes les toposéquences étudiées employées dans une analyse statistique en composantes principales

	N°	arg %	sgr %	mo %	n %	pho %	s méq	t méq	por	p4,2	h <sub>2</sub> O util
Microdune											
GOS 20	001	1,4	53,7	0,1	0,18	0,16	0,86	0,10	36,2	0,89	0,55
GOS 34	002	2,7	45,4	0,2	0,22	0,27	1,52	1,73	36,6	6,02	6,06
ANS 4	003	5,1	66,2	1,0	0,33	0,20	2,59	9,70	37,1	3,30	0,90
NDA 3	004	12,4	32,5	0,7	0,56	0,22	3,33	6,61	29,7	5,20	4,90
KER 2	005	13,8	62,4	0,6	0,38	0,23	0,64	5,82	31,9	4,00	3,60
ZAM 3	006	14,7	27,7	0,5	0,26	0,18	0,63	1,21	31,7	2,30	7,10
TEN 3	007	6,1	36,7	1,6	0,69	0,21	3,01	6,10	32,4	3,90	1,50
GLACIS NU											
GOS 24	008	19,7	29,4	0,1	0,41	0,25	3,82	4,04	35,3	3,18	12,67
GOS 32	009	21,4	17,7	0,6	0,58	0,51	5,85	4,98	34,9	6,57	13,08
ANS 2	010	5,8	65,1	1,1	0,52	0,60	3,65	4,10	32,5	4,30	3,90
NDA 2	011	31,6	18,4	1,0	0,82	0,76	15,42	15,47	30,4	11,3	5,90
KER 3	012	23,5	60,9	0,5	0,39	0,31	1,63	6,92	29,6	5,7	3,10
ZAM 2	013	9,9	26,7	0,5	0,26	0,37	0,83	1,03	39,9	2,5	5,40
TEN 2	014	32,6	17,5	2,0	0,67	0,40	3,40	15,30	28,5	10,1	3,70
DÉPRESSION BOISÉE											
GOS 29	015	34,5	8,0	1,1	1,25	0,47	4,45	8,82	34,2	22,9	9,10
GOS 36	016	21,3	24,8	3,0	1,61	0,66	7,28	15,30	44,1	5,68	21,05
ANS 3	017	8,6	62,7	1,5	0,60	0,51	4,75	7,60	37,2	4,9	4,90
NDA 1	018	23,3	18,8	2,9	1,88	0,60	14,93	16,62	38,1	11,5	7,60
KER 4	019	35,2	32,6	0,8	0,63	0,49	2,50	13,38	36,5	13,1	7,50
ZAM 1	20	8,7	19,7	1,0	0,58	0,60	2,50	4,21	24,3	3,4	5,30
TEN 1	021	24,3	12,5	4,8	1,77	0,52	5,01	13,3	42,6	10,5	5,50

arg = argile ; sgr = sables grossiers ; mo = matière organique ; n = azote ; pho = phosphore ; s = somme des cations ; t = capacité totale d'échange ; por = porosité ; p4,2 = pF4,2 ; h<sub>2</sub>O util = eau utile.

Tableau III - Statistiques élémentaires

VARIABLES	MOYENNES	ÉCARTS-TYPES DE LA SÉRIE
arg	16,981	10,5439
srg	35,210	18,7852
mo	1,219	1,1155
n	0,695	0,4921
pho	0,406	0,1773
s	4,219	3,9496
t	7,737	5,1622
por	34,462	4,6446
p4.2	6,726	4,9188
h <sub>2</sub> O <sub>u</sub>	6,348	4,5647

Tableau IV - Corrélations

	arg	srg	mo	n	pho	s	t	por	p4.2	h <sub>2</sub> O <sub>u</sub>
arg	0,1000									
srg	-0,610	-1,000								
mo	0,306	-0,382	1,000							
n	0,501	-0,552	0,871	1,000						
pho	0,463	-0,412	0,477	0,610	1,000					
s	0,442	-0,418	0,431	0,658	0,705	1,000				
t	0,700	-0,372	0,682	0,744	0,592	0,693	1,000			
por	-0,009	-0,045	0,459	0,440	0,119	0,143	0,201	1,000		
p4,2	0,784	-0,540	0,327	0,582	0,453	0,426	0,593	0,067	1,000	
h <sub>2</sub> O <sub>u</sub>	0,389	-0,482	0,209	0,442	0,433	0,316	0,260	0,417	0,206	1,000

L'axe 2 vertical, dont ne se rapproche qu'une seule variable, peut être appelé «axe de la porosité».

La figure 9, qui représente la répartition des individus à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux et d'indices calculés, permet de regrouper les 3 domaines différents du tableau II. Le premier, qui rassemble les observations de 1 à 7, lie donc les microdunes au caractère sables grossiers, ce qui est évident. Le deuxième, qui réunit les observations numérotées de 8 à 14 et qui concernent donc les zones de glacis nus, lie ces glacis au facteur argile et à l'humidité à pF4,2 qui lui est dépendant, ce qui est patent compte tenu de ce qui a été dit à propos des analyses du tableau I. Enfin, le troisième domaine regroupe quelques observations qui concernent les dépressions boisées et les rattachent aux facteurs matière organique (et azote qui lui est lié) et eau utile, ce qui est tout à fait logique puisque ce sont des dépressions où se concentrent l'eau et la plus grande partie de la biomasse.

## Différentes mesures sur le déplacement des brousses tigrées

Plusieurs méthodes de mesure ont été employées pour tenter d'estimer le déplacement des bandes boisées. La première s'est appuyée sur le déplacement par rapport à certaines bornes astronomiques de l'Institut géographique national (IGN), implantées



Tableau V - Étude des individus

1<sup>e</sup> colonne : coordonnées des individus sur les axes principaux  
 2<sup>e</sup> colonne : cosinus carres (qualité de la représentation)

INDIVIDUS	AXE 1		AXE 2	
001	3,4407	0,8937	-0,7755	0,0454
002	2,1971	0,7384	-0,5615	0,0482
003	2,0248	0,4839	-1,0131	0,1211
004	1,1884	0,4795	0,6730	0,1538
005	2,1354	0,7837	0,1169	0,0023
006	1,3439	0,4247	-0,3150	0,0233
007	2,0444	0,6296	0,3563	0,0191
008	0,8432	0,1350	-0,0366	0,0003
009	-0,6327	0,0911	0,2796	0,0178
010	1,2939	0,2691	-0,4452	0,0319
011	-3,0867	0,5067	1,9143	0,1949
012	1,5035	0,4153	1,0373	0,1977
013	-1,3357	0,2170	1,8224	0,4040
014	1,6335	0,4125	-0,8777	0,1191
015	-2,7946	0,4462	1,8790	0,2017
016	-3,8353	0,5655	-2,6443	0,2688
017	0,5714	0,0854	-1,1314	0,3347
018	-4,3019	0,8284	-0,6853	0,0210
019	-1,3977	0,2912	1,0512	0,1647
020	-3,6309	0,5903	-1,8937	0,1606
021	0,7953	0,0740	1,2494	0,1827

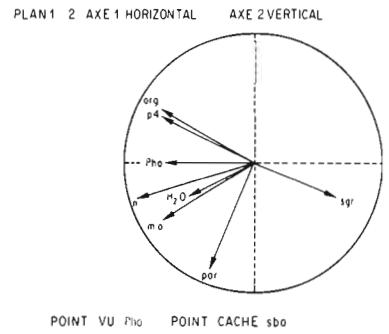


FIGURE 8 - Analyse en composantes principales. Cercle des corrélations. Grandeur et direction des vecteurs des différentes variables, plan principal (axes 1 et 2).

Tableau VI - Étude des variables

1<sup>e</sup> colonne : corrélations entre les variables et les axes principaux  
 2<sup>e</sup> colonne : corrélations au carré

VARIABLES	COMPOSANTES PRINCIPALES			
	Axe 1		Axe 2	
arg	-0,7524	0,5661	0,4831	0,2334
srg	0,6807	0,4634	-0,2620	0,0686
m.o	-0,7296	0,5324	-0,4347	0,1889
n	-0,9058	0,8205	-0,2628	0,0690
pho	0,7580	0,5745	0,0382	0,0015
s	-0,7597	0,5772	0,0376	0,0014
t	0,8515	0,7251	0,0491	0,0024
por	-0,3350	0,1122	-0,8035	0,6457
p4.2	-0,7236	0,5236	0,4226	0,1786
h <sub>2</sub> Ou	-0,5380	0,2894	-0,2279	0,0519

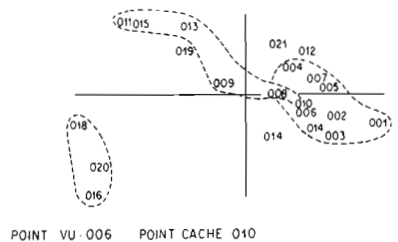


FIGURE 9 - Analyse en composantes principales. Diagramme des relevés (axes 1 et 2).

dans la région du Gourma malien en 1955-56 après triangulation sur un point fixe. 2 bornes ont été choisies à l'intérieur de brousses tigrées. L'une est la borne d'altitude 273 m, située près du village de Tega au sud de Hombori, à 14° 59' de latitude nord et 2° 05' de longitude ouest, carte IGN au 1/200 000 ND 30 XVII. Cette borne a été retrouvée ensevelie sous une bande nue à 15,8 m de la bande boisée dégradée où elle avait été cimentée vingt et un ans auparavant par les villageois du hameau proche de Taabi. La vitesse moyenne de déplacement calculée est de 0,75 m par an. Une seconde borne, implantée par l'IGN la même année sur la piste Gossi-N'daki à 42 km à partir du pont de la piste Gossi-Gao, a servi à mesurer le déplacement de la brousse tigrée NDA (fig. 3). Il s'agit de la borne astronomique d'altitude 303 m et de coordonnées 15° 34' 20" de latitude nord et 1° 01' 10" de longitude ouest triangulée sur un repère marqué proche d'une bande boisée. En vingt et un ans, cette bande a parcouru 5,2 m, soit une moyenne annuelle de 25 cm. D'autres mesures annuelles réalisées grâce à des repères cimentés dans le sol des toposéquences GOS II et III ont fourni des mouvements de l'ordre de 20 cm par an.

## DISCUSSIONS

### **Structure et environnement des formations de brousses tigrées**

Toutes les coupes transversales des formations de brousses tigrées représentées par les figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6 indiquent qu'elles peuvent être subdivisées en 3 parties distinctes :

- une partie haute sableuse herbeuse ;
- une partie médiane argilo-sableuse à limono-sableuse nue ;
- une partie basse sablo-argileuse à limono-sableuse boisée.

Ces 3 parties correspondent à des bandes, grossièrement parallèles entre elles, qui se succèdent toujours dans le même ordre, perpendiculairement à la direction nord-est des vents dominants de saison sèche, alizés et harmattan. Ces bandes, à peu près rectilignes dans les zones septentrionales de l'étude, s'incurvent à leurs extrémités et peuvent donner alors naissance à des formes complexes en mouchetures et en rosaces vers les régions méridionales. On passe des brousses tigrées au nord aux brousses ponctuées au sud. En même temps, la largeur de ces formations, mesurée sur les toposéquences, varie avec la latitude ; elle passe par un maximum autour de 15° de latitude et elle diminue de part et d'autre de ce parallèle. La largeur de chacune des bandes peut varier au sein d'un même ensemble de brousse, mais généralement la largeur des bandes nues diminue vers l'intérieur où il arrive que l'on puisse observer un télescopeage des bandes herbeuses et boisées, la bande nue n'étant plus présente.

La pente moyenne de la plupart des brousses observées est de 1 à 2 %. Sur le flanc de quelques massifs gréseux et dans le cas des brousses ponctuées, cette pente peut atteindre 4 à 5 %.

Les formations géologiques impliquées sont toujours des roches sédimentaires peu pentées, schistes ou grès argileux non cuirassés au nord, cuirassés au sud. La schistosité ou l'orientation de ces roches, lorsqu'elles en présentent une, est celle de l'allongement des bandes, soit nord-est - sud-ouest. C'est le cas de l'ensemble des formations du Précambrien supérieur du Gourma malien, telles qu'elles ont été cartographiées par REICHELTE (1972) et où se localise l'essentiel de nos observations.

Le modelé où s'installent les brousses tigrées, c'est-à-dire en dehors des zones dunaires et des massifs ou des reliefs rocheux nus, est plat ou peu penté. Sur ces sur-

faces substructurales, le réseau hydrographique hiérarchisé est totalement absent. L'eau stagne dans les collatures des bandes boisées et l'endoréisme est la règle.

Les sols des 3 types de bandes ne sont guère différents du nord au sud. Sur les microdunes et sur les placages sableux, on trouve des sols peu évolués d'apport ; sur les glacis, des sols subarides tronqués ou des sols peu évolués ; dans les dépressions, les sols sont peu évolués ou bruns subarides structurés ou hydromorphes. Il n'y a donc pas, comme cela s'observe la plupart du temps, d'accentuation de la pédogenèse avec l'accroissement de la pluviométrie, vers le sud.

Les sols sont azonaux. Un net gradient granulométrique est toujours observable de part et d'autre de la zone nue qui est la plus argileuse ou la plus limoneuse : vers la dépression, il y a un mélange de sables, d'argile et de limons, vers le haut, ce sont les sables qui dominent.

En revanche, il y a un changement notable de la composition des strates de la végétation du nord vers le sud, où les espèces à affinité soudanienne deviennent dominantes.

## **Hypothèse de formation des brousses tigrées sahéliennes**

À l'aide des éléments qui précèdent, on peut tenter de reconstituer les processus de formation des brousses tigrées sahéliennes. On peut imaginer au départ une végétation uniforme ou éparse non contractée qui colonise un sol brun constitué d'un horizon d'altération argilo-sableux à nodules ferrugineux, issu de schistes cuirassés ou non, et d'un horizon limono-sableux (toposéquences NDA et KER, fig. 3 et 4). Par suite de la péjoration du climat, la zone devient endoréique. L'apparition de phénomènes érosifs hydriques lamellaires et en griffes, fréquents sous climat semi-aride, amène à l'ablation progressive de l'horizon argilo- ou limono-sableux de surface qui, tronqué, se termine alors en biseau pour former la partie haute du glacis. Le glacage de surface, dû à l'érosion, empêche l'infiltration de l'eau et l'installation de la végétation. Le matériel érodé grossier est déposé en bas du glacis par le ruissellement de saison des pluies. Les éléments fins colmatent la surface du glacis ou se déposent en croûte plus bas. Durant la saison sèche, les vents du nord-est reprennent les sables du matériel grossier érodé et les déposent en croûte au sommet du glacis. Le phénomène se poursuit année après année et la végétation ligneuse originelle se modifie. Celle atteinte par la troncature érosive meurt et ses racines ainsi que les nids termitiques abandonnés restent enfouis ou en partie déterrés. Celle de la zone basse transformée en collature où se concentrent les eaux se densifie. En avant de cette zone boisée, les plages de sables issues de l'érosion et non reprises par le vent sont colonisées par des espèces graminéennes pionnières. Il en est de même pour la crête sableuse. Les 3 plages qui constituent une unité élémentaire de brousse tigrée sont alors en place.

## **Évolution et dynamique**

Le processus se poursuit. La microdune ou le bourrelet sableux s'accroît, avance et peut ainsi rejoindre une bande boisée contiguë en l'ensevelissant, comme c'est le cas dans les séquences de NDA et KER (fig. 3 et 4). Simultanément, la destruction du glacis par l'érosion hydrique modifie la zone basse, où s'accumule l'eau de ruissellement, et détermine l'épandage de sables ; ces derniers, rapidement, sont colonisés par les graminées éphémères ou par les germinations de ligneux en début de saison sèche ; cependant, plus tard, ils sont remis en mouvement par le vent. La bande boisée suit ce mouvement. Sa partie arrière, qui ne reçoit plus assez d'eau ou qui est rejointe par le

sable de la microdune contiguë, meurt et avec elle la mésofaune de termites et d'insectes divers qui vivait sous son couvert. La figure 1 de la séquence GOS II illustre cette dynamique. En particulier, on peut reconstituer dans l'espace l'ablation de tout l'horizon sablo-limoneux à sablo-argileux entre les profils 22 et 29c, et on peut montrer que la destruction de cet horizon conduit à un enrichissement en éléments fins en bas de pente et en sable en haut de pente, gradient prouvé par les chiffres du tableau I.

On assiste donc à une translation continue des sols et de la végétation sous les effets cumulés et complémentaires des érosions, hydrique et éolienne, successives. Il arrive, comme c'est le cas pour les séquences septentrionales, que la faible épaisseur des horizons et l'agressivité érosive se conjuguent pour mettre en mouvement l'ensemble du sol meuble jusqu'à atteindre la roche peu altérée (fig. 1 et 2). Dans les autres cas, seuls les horizons supérieurs du sol sont remis en mouvement et transitent au-dessus des horizons d'altération de la roche ou de la cuirasse plus ou moins démantelée. Ceci explique le fait que les sols des brousses tigrées soient azonaux et peu différenciés quelle que soit leur latitude.

La nécessité de la conjonction des 2 formes d'érosion, hydrique et éolienne, pour que les brousses tigrées sahéliennes se forment et évoluent, explique pourquoi on ne les trouve pas au nord du 16° parallèle, limite au-delà de laquelle la pluviométrie annuelle tombe en dessous de 200 mm et devient insuffisante pour assurer l'ablation érosive hydrique. De même, en position méridionale avancée, vers 14° 30' de latitude nord, où la pluviométrie annuelle tourne autour de 500 mm, c'est l'action du vent qui devient le facteur limitant.

Il convient de moduler cette affirmation par les exigences édaphiques des brousses tigrées qui sont limitées, au nord du 16° parallèle, par l'extension des champs et des cordons dunaires et, en dessous de 14° 30' de latitude sud, par la disparition des formations sédimentaires et leur remplacement par les roches cristallines du socle. La disparition des formations de brousses tigrées suit exactement la limite entre les grès et le socle au Burkina Faso (fig. 10). Mais, en Mauritanie, les conditions édaphiques favorables font remonter ces formations végétales jusqu'au 17° degré de latitude nord ; au Niger, celles-ci atteignent, sur les grès argileux du continental terminal, le 12° degré de latitude nord.

Au sud, la disparition des brousses tigrées correspond également à l'apparition d'un système de drainage hiérarchisé des têtes des premiers tributaires du Beli et de la Volta blanche. Lorsque l'eau des collatures boisées ne s'accumule plus mais s'écoule vers les marigots, la bande boisée contractée ne peut se maintenir et la dynamique de l'ensemble perd un de ses principaux moteurs.

## Écologie

En position septentrionale à faible pluviométrie, les bandes boisées ne peuvent se mettre en place et persister que grâce à la concentration des eaux de ruissellement issues des glacis nus dans la collature. L'eau qui se rassemble dans cette partie déprimée sans exutoire peut s'infiltrer à la faveur de la structure développée, de la porosité élevée et de la teneur en éléments fins des matériaux de ces sols dont la capacité en eau est élevée (300 mm.m<sup>-1</sup> contre 30 mm.m<sup>-1</sup> aux sols sableux amont). L'évaporation, réduite du fait du feutrage organique de surface et de la couverture végétale, permet la conservation de l'humidité quatre à cinq mois après la fin des pluies. Elle permet aussi la présence et le maintien d'espèces herbacées et ligneuses vivaces bien au nord de

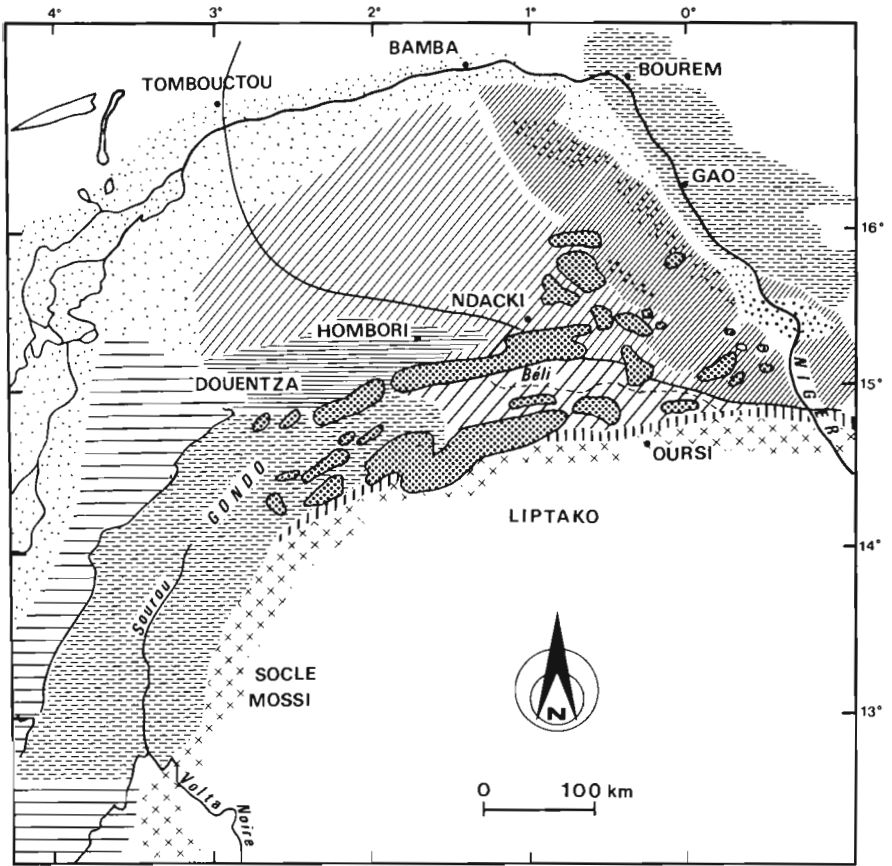


FIGURE 10 - Extension de la brousse tigrée par rapport aux formations géologiques (d'après schéma géologique de J. GALLAIS).

leurs aires habituelles. Il en est ainsi de *Andropogon gayanus* et de *Pennisetum pedicellatum*, pour les graminées, de *Pterocarpus lucens*, de *Combretum micranthum* et de *C. glutinosum*, pour les espèces ligneuses.

Il en est de même des espèces de termites, du genre soudano-sahélien *Bellicositermes*, qui remontent loin en latitude à la faveur des bandes boisées humides et argilo-limoneuses de brousses tigrées. Les bandes boisées humides abritent également un certain nombre d'espèces d'insectes, de lépidoptères, de rongeurs et d'oiseaux dont les habitats se situent beaucoup plus au sud.

Les bandes boisées de brousses tigrées étudiées constituent donc des jalons contractés et avancés d'espèces à affinité sud-sahélienne et soudanienne au sein de régions nord-sahélienne et saharo-sahélienne. Les espèces à écologie plus humide retrouvent, dans le biotope privilégié que constituent les bandes boisées, des conditions de milieu qui équivalent à celles dont elles disposent plus au sud.

## Nouvelles lignes de recherches

Les résultats et les interprétations consignées ci-dessus ne découlent que des études des brousses tigrées sahéliennes localisées dans le Gourma malien et au nord du Burkina Faso. Il conviendrait d'étendre l'étude de ces formations en Mauritanie et au Niger pour pouvoir confirmer ou réduire les conclusions du présent travail. De nouvelles recherches pourraient être entreprises sur les sites déjà étudiés. Il serait nécessaire de mesurer les pertes en terre et le ruissellement tout au long de la séquence grâce à des parcelles ou à l'aide d'un minisimulateur de pluie de manière à chiffrer le volume des sols mis en mouvement et le volume d'eau qui se concentre dans les dépressions. De même, l'érosion éolienne pourrait être estimée. Enfin, des études biologiques concernant la biocénose de ces formations pourraient être entreprises dans des zones à évolution « normale » et dans les mises en défens.

## CONCLUSIONS

L'étude détaillée et pluridisciplinaire de différentes séquences de brousses tigrées en zones saharo-sahélienne et sahélienne du Mali et du Burkina Faso conduit aux principaux résultats suivants :

- toutes ces formations végétales sont constituées de 3 bandes alternées différentes :
  - une microdune sableuse herbeuse,
  - un glacis argileux nu,
  - une dépression sablo-argileuse boisée dense ;
- la formation, la persistance et l'évolution des brousses tigrées sont sous la dépendance de plusieurs facteurs qui sont :
  - une pluviométrie annuelle supérieure à 200 mm et inférieure à 500 mm,
  - la nature sédimentaire du substrat et la pente du plancher de ce substrat rocheux, qui est nulle ou inférieure à 4 %,
  - la faible épaisseur de la couverture de sols juvéniles au-dessus de ce plancher (inférieur à 1 m, et absent sur dunes épaisses),
  - la direction des vents dominants de saison sèche, qui est perpendiculaire à l'orientation des bandes ;
- l'ensemble de la formation est animé d'une dynamique rapide. Sous l'action des eaux de pluies, le matériel fin du glacis nu s'érode et vient se déposer dans la collature de la bande boisée. L'accumulation des eaux à ce niveau permet la germination et

l'avancée des espèces de cette bande sur le glacis. Au cours de la saison sèche suivante le sable resté en surface de ce glacis est repris par le vent et il est déposé sur la micro-dune herbeuse qui va se déplacer elle aussi dans le sens du vent ;

- la vitesse de ce déplacement conjoint des sols et de la végétation varie de 20 à 70 cm par an. Cette dynamique, rapide au nord, se ralentit au sud et s'arrête lorsque les conditions, édaphiques en particulier, ne sont plus réunies ;

- la brousse tigrée représente un écosystème sahélo-soudanien en milieu subaride, et la bande boisée est une niche écologique humide et riche au sein d'une région sèche semi-aride. Les espèces végétales et animales qui y subsistent sont alors placées aux limites septentrionales de leurs aires de répartition géographique et elles sont donc vitalement tributaires des variations climatiques et, en particulier, des longues périodes de sécheresse ;

- si les observations ne militent pas en faveur de la formation des brousses tigrées sahéliennes par la sécheresse et par le surpâturage, ceux-ci sont cependant responsables des modifications floristiques et peuvent être à l'origine de la disparition des témoins les plus septentrionaux.

---

J.-C. LEPRUN : *pédologue*,  
représentation ORSTOM, CP 09747, 70001 Brasília, Brésil

---

#### BIBLIOGRAPHIE

- AUDRY (P.) et ROSSETTI (Ch.), 1962. - Observations sur les sols et la végétation en Mauritanie du sud-est et sur la bordure adjacente du Mali (1959 à 1961). *Rapp. multigr.* 24067/F/1 FAO, Rome.
- BOALER (S. B.) et HODGE (C. A. H.), 1962. - Vegetation stripes in Somaliland. *J. Écol.*, 50 : 465-474.
- BOULET (R.), GAVAUD (M.) et BOCQUIER (G.), 1964. - Étude pédologique du Niger Central. *Rapp. multigr.* ORSTOM, Dakar, 211 p.
- CLOS-ARCEDUC (M.), 1956. - Étude sur photographies aériennes d'une formation végétale sahélienne : la brousse tigrée. *Bull. Ifan*, Dakar, 18 (3) : 677-684.
- CLOS-ARCEDUC (M.), 1964. - La géométrie des associations végétales en zone aride. Actes de la conférence Unesco : explorations aériennes et études intégrées. Toulouse : 419-421.
- CORNET (A.), DELHOUME (J.-P.) et MONTANA (C.), 1983. - Vegetation patterns and soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert- Mexico). I. Vegetation arcs. Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas, USA, 19 p.
- COULIBALY (M.), 1979. - Approche phyto-écologique et phytosociologique de pâturages sahéliens au Mali (région du Gourma). Thèse doct. spc. univ. Nice, 149 p.
- DUCELIER (J.), 1963. - Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du centre et du nord de la Haute-Volta. Mém. BRGM, 10, Paris.
- GALLAIS (J.), 1975. - Pasteurs et paysans du Gourma. La condition sahélienne. *Mém. Centre Et. Géogr. Trop.* CNRS, Paris, 239 p.
- HEMING (C. F.), 1970. - Vegetation arcs in Somaliland. *J. Écol.*, 53 : 57-67.
- JANKE (B.), 1976. - Zum problem der Vegetationsstreifen (Brousse tigrée) im demiariden Afrika. Geokologische Untersuchungen in West- Niger. *Die Erde*, 107 : 31-46.
- LEPRUN (J.-C.), 1978. - Étude de l'évolution d'un système d'exploitation sahélien au Mali. Compte-rendu de fin d'études sur les sols et leur susceptibilité à l'érosion, les terres de cures salées, les formations de «brousse tigrée» dans le Gourma. *Rapp. multigr.*, ORSTOM, Paris, 45 p.

- LEPRUN (J.-C.), 1979. - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformations, dégradation. Thèse doct. État, univ. Strasbourg et *Mém. Sc. Géol.*, 58, Strasbourg, 224 p.
- LEPRUN (J.-C.), 1983. - Sols et relations sol-végétation. Étude des potentialités pastorales et de leur évolution en milieu sahélien au Mali. *Rapp. multigr.* DGRST ed. Paris, 114 p.
- REICHELTELT (R.), 1972. - Géologie du Gourma (Afrique occidentale). Un seuil et bassin du Précambrien supérieur. *Mém. BRGM*, 53, 213 p., carte au 1/500 000 h. t.
- TOMASSONE (R.), 1975. - L'analyse en composantes principales. *Rapp. multigr.* Laboratoire de biométrie du CNRS.
- WHITE (H.), 1970. - Brousse tigrée patterns in Southern Niger. *J. Soil Sci.*, 58 : 549-53.
- WICKENS (C. E.) et COLLIER (F. W.), 1971. - Some vegetation patterns in the republic of Sudan. *Geoderma* : 43-59.