

Office de la Recherche Scientifique et
Technique d'Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.)
24, rue Bayard
75008 PARIS

Laboratoire de Pédologie
du Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar
B.P. 1386 DAKAR (Sénégal)

Jean-Claude LEPRUN

Maître de Recherches O.R.S.T.O.M.

A.C.C. – LUTTE CONTRE L'ARIDITÉ EN MILIEU TROPICAL
«ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION D'UN SYSTEME
D'EXPLOITATION SAHÉLIEN AU MALI»
VOLET PÉDOLOGIE. RAPPORT DE CAMPAGNE 1979

Rapport scientifique annuel
complémentaire d'une recherche financée
par la
Délégation Générale
à la recherche scientifique et technique

Octobre 1979

Action complémentaire concertée : Lutte contre
l'aridité en milieu tropical

Décision d'aide n° 78. 7. 22 44

RAPPORT SCIENTIFIQUE ANNUEL

- Année 1979 -

Action complémentaire coordonnée : Lutte contre l'aridité en milieu tropical	N° de la décision d'aide : 79.7.224
Organisme : Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer	
Laboratoire exécutant : Laboratoire du Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar	
Responsable scientifique : LEPRUN Jean-Claude	Date d'entrée en vigueur : Nov. 1978
Téléphone : (88) 35.66.03	Date d'expiration : Nov. 1979
Nombre de chercheurs ayant participé : Cinq	Montant : 30.000 F.
Objet de la décision : Etude de l'évolution d'un système d'exploitation sahélien au Mali	

A. INTRODUCTION

Le rapport final du volet pédologie de cette A.C.C. "Lutte contre l'aridité en milieu tropical" au Mali a été remis l'an dernier (LEPRUN, 1978). Le rapport de cette année complémentaire 1978-1979, demandée pour poursuivre et finir quelques études en cours sera donc établi suivant le modèle des *rapports scientifiques annuels* préconisé par la D.G.R.S.T. L'objet de la recherche : "Etude pédologique et écologique des pâturages sahéliens et saharo-sahéliens au Mali" prévoyait cette année d'atteindre deux objectifs :

- 1 - Une meilleure connaissance des sols du Gourma et des conditions édaphiques prédisposant à la dégradation ou à la régénération des pâturages.
- 2 - La connaissance de la dynamique des peuplements végétaux sahéliens et saharo-sahéliens suivant un gradient latitudinal et les rapports sols - végétation.

En termes plus concrets, on peut dire :

- Que le *premier objectif* était destiné à l'étude des mécanismes de formation des phénomènes d'érosion pluviale et éolienne dits "coups de cuiller" qui aboutissent sur les sols sableux du Gourma à des surfaces circulaires *nues et durcies*. Ces phénomènes, très fréquents dans cette région et soupçonnés être les indices de l'avancée du front de la désertification vers le Sud, affectent le haut des profils pédologiques. Dès la deuxième année d'observation, il nous

a paru nécessaire pour étudier ces mécanismes superficiels et hypodermiques, de faire appel à la technique des lames minces micromorphologiques si fructueuse par ailleurs en pédologie.

- Que le *deuxième objectif* d'étude s'imposait après la mise en évidence les années précédentes, de la dynamique extrêmement rapide des formations végétales sahéliennes particulières que sont les "brousses tigrées". Une méthode d'étude par *prélèvements micromorphologiques* semblable à celle de l'érosion précédente a donc été menée pour les zones nues des "brousses tigrées". Les *mesures* de l'avancement des microdunes par rapport à des repères fixes se sont poursuivies. Enfin, les nombreuses observations par toposéquences, prélèvements, analyses et relevés botaniques effectués les années précédentes avec l'équipe du Pr. BARRY de Nice (MM. LELLES, LACOSTE et MANIERE) ont donné lieu à un *traitement statistique original* pour tenter de faire ressortir les rapports entre le sol et la végétation au Nord du fleuve Niger.

B. DÉROULEMENT DES ÉTUDES ET TRAVAUX

Janvier 1979 : recherches bibliographiques sur les "brousses tigrées". Recherche d'une méthode d'induration *sur le terrain*, des échantillons de surface, très fragiles qui ne peuvent être transportés. Le choix se porte sur l'emploi de l'acétate de cellulose qui dissout dans de l'acétone, imprègne l'échantillon sans perturber les structure, durcit en trois heures, et est très solide. Cette méthode est utilisée par les palynologues.

30 Janvier : voyage avion et arrivée à Dakar.

Jusqu'au 5 Février : préparation du véhicule et du matériel de prospection. Achats divers : cartes, photos aériennes, outils.

Du 5 au 12 Février : voyage *par la route* de Dakar à Bamako par Kayes et Niou du Sahel, seul itinéraire possible. En effet, une interruption du trafic des trains de marchandise durant plusieurs jours et le manque de plateforme m'a empêché de mettre le véhicule sur le train à Kidira, comme je le fais toujours. La piste est très difficile, mais permet l'observation des sols et de la végétation d'une région sahélienne mal connue qui présente des analogies avec le Ferlo sénégalais et est donc différente de la région du Gourma (Absence des zones érodées en "coup de cuiller" en particulier).

13-15 Février : voyage Bamako - Gossi et arrivée sur la zone de travail.

12 Février - 6 Mars : Travail sur le terrain : réalisation de fosses pédologiques et d'imprégnations de surface autour de Gossi, entre Gossi et Gao, Gossi et N'Daki et Gossi et Gourma Rharous (fig. 1).

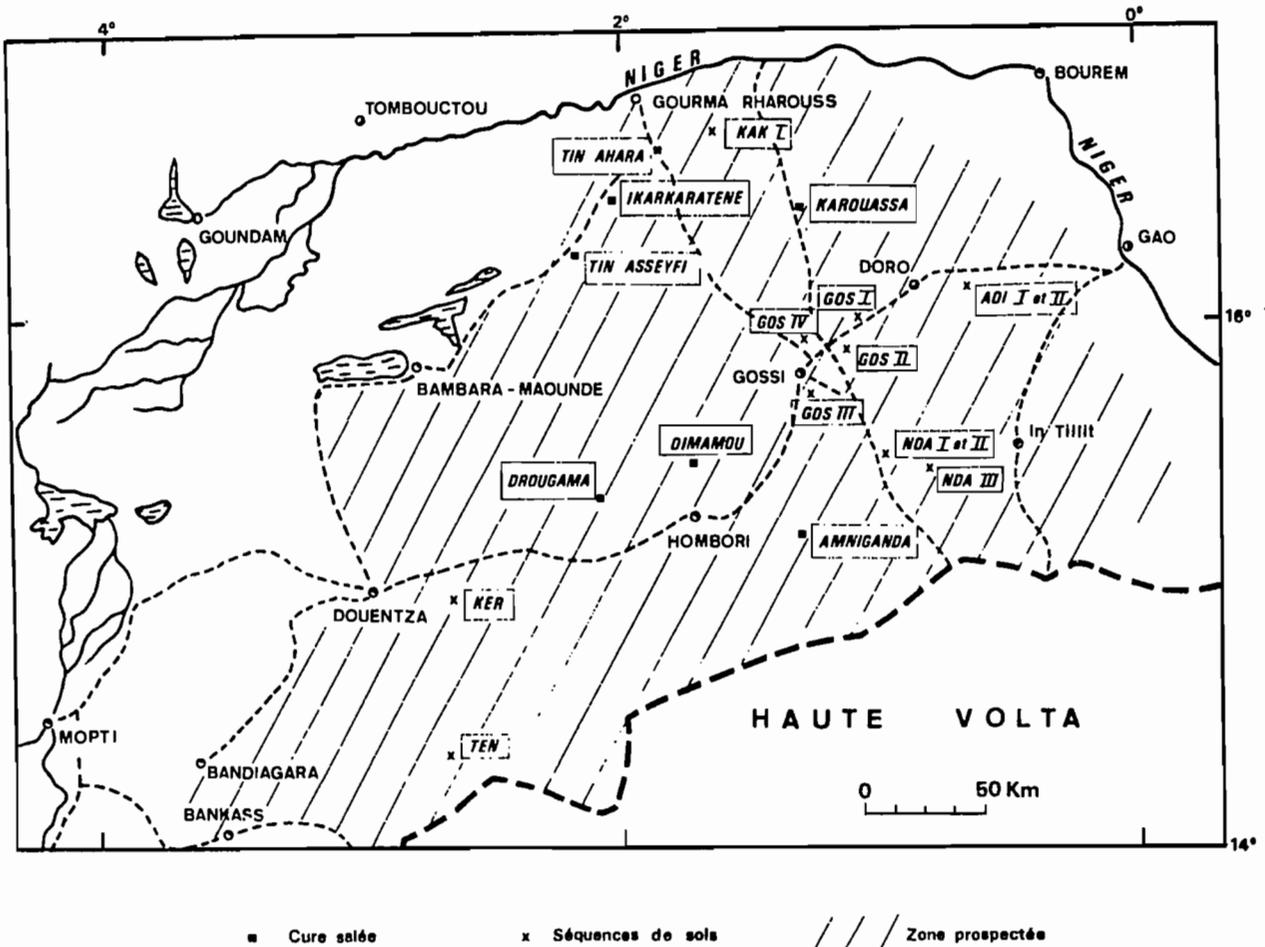


FIG.1 . Situation des points d'étude dans le GOURMA MALIEN et la BOUCLE DU NIGER

Observations et prélèvements relatifs aux rapports sols-végétation le long de ces transects, sur la rive gauche du Niger (Goundam, Tombouctou, Bourem...) et le long du Tilemsi (Toposéquences TIL I et II et IFO IV, fig. 2 et 3).

6 - 10 Mars : trajet de retour Gossi - Bamako - Dakar

11 - 15 Mars : rangement du matériel, préparation des échantillons aux analyses pédologiques (Laboratoire des sols du centre ORSTOM de Hann, sous la direction de M. PAYCHENG) et à la fabrication des lames minces (Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, M. HANRION).

16 Mars : voyage Dakar - Paris - Strasbourg.

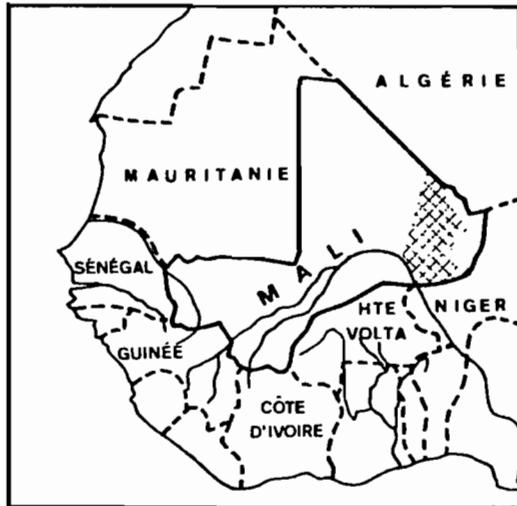
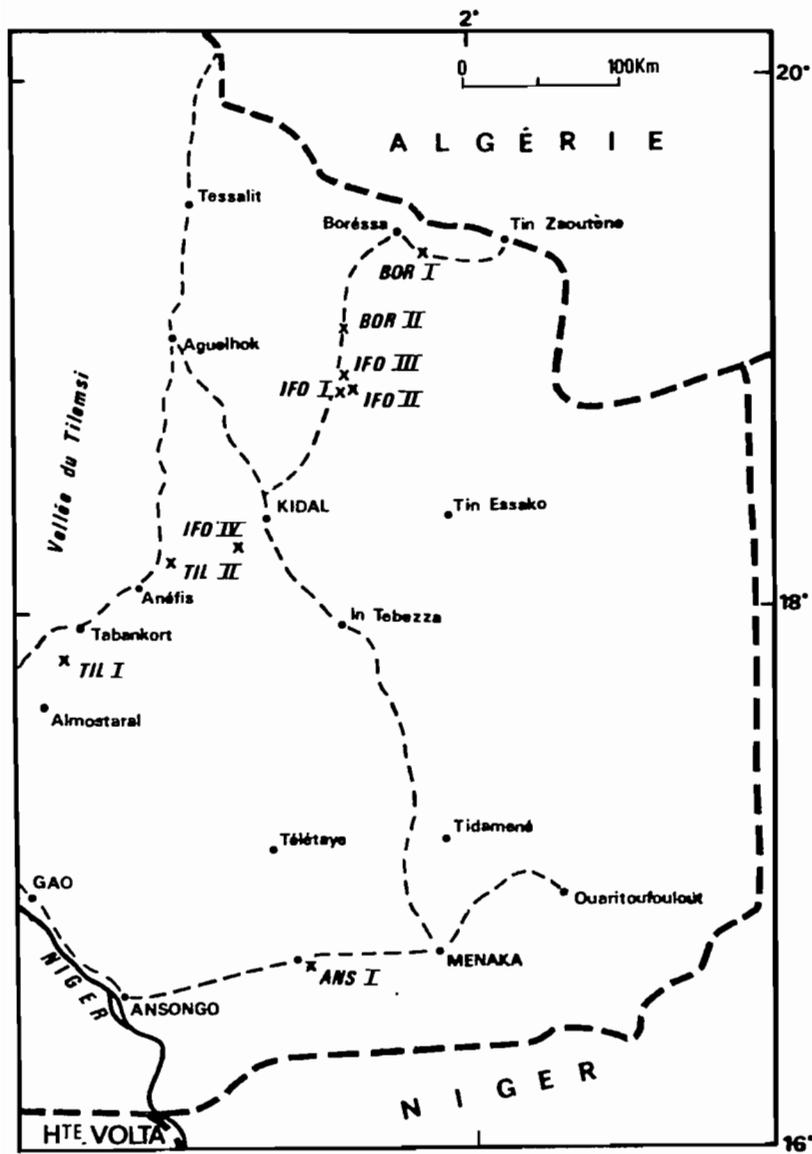


FIG. 2 et 3
SITUATION
DES POINTS D'ÉTUDE



C. BILAN DES TRAVAUX

I. LES CONDITIONS EDAPHIQUES PREDISPOSANT A LA DEGRADATION OU A LA REGENERATION DU COUVERT VEGETAL EN ZONE SAHELIENNE DU GOURMA MALIEN.

a) Introduction et rappels

La végétation de cette zone comporte une strate arbustive généralement lâche et une strate herbacée constituée presque essentiellement de graminées annuelles. Cette couverture végétale n'est ni homogène, ni continue, et présente des zones totalement nues. Le surpâturage et ses conséquences sur l'érosion en particulier, ont été incriminés pour expliquer la formation de ces zones nues qui sont dites alors "dégradées". Or, les études antérieures (LEPRUN, 1976, 1977, 1978) mettent en évidence les relations étroites entre la nature du substrat et les zones nues, et si les zones surpâturées et les parcours traditionnels du bétail présentent des dénudations et aggravent l'érosion, les autres zones *n'en sont pas pour autant dépourvues*.

Deux grands types de substrat peuvent être reconnus :

- les sables dunaires ondulés et fixés qui occupent la majeure partie de la zone située au Nord de la piste Hombori - Gossi - Gao (Ergs I et surtout II et III) ;
- les argiles et limons de surfaces planes issues des formations sédimentaires affleurantes ou subaffleurantes schisteuses non ensablées situées au Sud de la piste Hombori - Gao.

Les sables dunaires à couvert végétal steppique continu sont ponctués de plages circulaires nues, à surface du sol durcie et rouge ("coup de cuiller"). Les sols argileux et limoneux développés sur le sédimentaire supportent une végétation contractée, en bandes boisées denses qui alternent avec des bandes nues, battantes et blanches ("brousse tigrée").

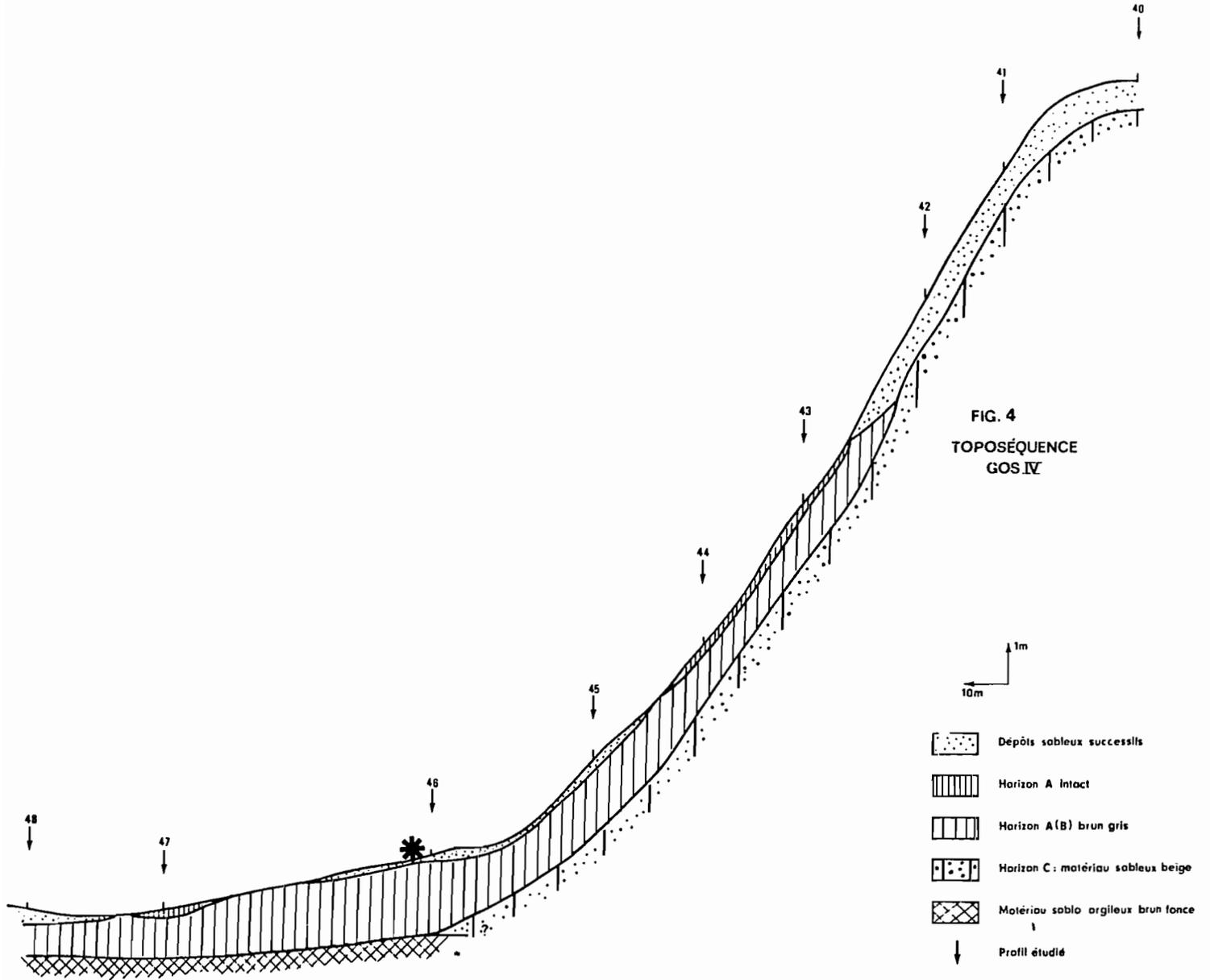
Les observations détaillées de la surface du sol et de nombreuses lames minces sous le microscope, les résultats des analyses pédologiques fines de ces surfaces et les interprétations qu'elles suggèrent peuvent être résumés comme suit.

b) Les plages nues sur sables dunaires fixés

1 - Formation

Sur les sables dunaires de l'erg II et III, c'est à dire ceux sur lesquels se développent les sols les moins évolués, les moins argileux et les plus fragiles (sols brun-rouge subarides modaux et peu différenciés) les pla-

ges nues se situent surtout sur le versant des dunes (fig. 4 et photo 1, Pl. I) *



* les planches photographiques sont placées en fin de rapport.

La totalité de l'horizon humifère de surface sur 15 à 20 cm d'épaisseur est enlevée par l'action conjointe de l'eau et du vent, ce dernier agent étant le plus actif. L'importance de l'ablation détermine la formation d'un modelé concave de la plage nue. Statistiquement, ce sont les zones situées *autour et en aval des arbustes* qui sont les plus atteintes (Photo 2, Pl. I). Il arrive que l'arbuste déraciné ait disparu, mais le sol profond porte encore les traces de sa présence (passages et reliquat de racines ...). La base des arbustes et en effet le *siège d'une activité biologique intense*. La strate herbacée y est haute et mieux préservée. Elle croît le plus souvent à la faveur du milieu de germination favorable que constitue les dépôts sableux très meubles que le vent plaque contre le tronc de l'arbuste. Ces dépôts éoliens recouvrent et enfouissent les graminées et les pailles présentes sur place ou entraînées, et constituent alors un biotope privilégié à la prolifération de la micro- et mésofaune (fourmis, termites, hypogées, tiques...). La structure de l'horizon supérieur du sol qui abrite cette faune très active est remaniée, devient poreuse, comme soufflée. Les remontées biotiques de terre fine en surface sont souvent importantes. On note la présence d'un pseudomycelium de calcaire fragile et soluble.

L'eau des premières pluies peut détruire cette structure et disperser les constituants non seulement par effet mécanique mais aussi par des actions physico-chimiques (dissolution du calcaire, maintien et pression de l'eau dans les pores de l'horizon humifère peu mouillant...). Le vent qui suit ces pluies déblaie facilement les produits meubles ainsi dispersés. Une fois la limite supérieure de l'horizon (B) du sol atteint, horizon un peu plus argileux, un peu plus compact et donc moins perméable, les mécanismes de l'érosion hydrique diffèrent.

Les premières gouttes de pluie qui s'écrasent contre la surface de l'horizon (B) creusent par effet "splash" une micro-dépression en détachant les particules. Il y a dispersion des éléments fins et obturation des pores de surface. Ce phénomène, répété, provoque la formation de la frange colmatée argilo-ferrugineuse rouge qui donne aux zones dénudées leur aspect caractéristique. Après ressuyage, cette frange durcit, s'encroûte et devient imperméable. (Photo 3, Pl. I). Les nombreuses observations de lames minces de cette croûte sous le microscope montrent que la redistribution des éléments fins (argiles et limons) se fait sur place ou à très faible distance. Il n'y a pas de figures d'illuviation mais plutôt une *concentration plasmique* des éléments fins qui emballent alors les grains de sable à la manière d'un ciment (Photo 4, Pl. I).

Une fois cette frange imperméable formée, l'eau ne peut s'infiltrer, ou mal, ce qui a pour effet de favoriser le ruissellement. Ce ruissellement sera d'autant plus intense que la pente sera plus forte. Les grains de sables détachés ou peu cimentés de surface (Photo 4, Pl. I) vont être entraînés vers l'aval de la plage dénudée et se déposer sous forme de microrides sableuses (Photo 5, Pl. I).

Balayée et lissée successivement par le vent et le ruissellement, non alimentée en eau, ou très peu, la zone amont de la plage encroûtée dont le sol ne contient que peu de graines (examen des lames minces, essai de flottation et de germination en vase au laboratoire ...) reste nue et peut même se propager vers l'amont par une érosion en nappe régressive. En revanche, une recolonisation de ces plages est possible et a été étudiée.

2 - Régénération des plages nues .

Déjà observée en quelques endroits autour de Gossi en 1977 (LEPRUN, 1978), la régénération du couvert herbacé sur les plages érodées en "coup de cuiller" est apparue bien plus importante cette année. Cette régénération croissante est à mettre en relation avec la pluviométrie croissante de ces dernières années : 345 mm à Gossi en 1978, contre 236 mm en 1977 et surtout 183 mm en 1976. L'évolution des plages nues a été étudiée le long d'un transect Gao - Gourma Rharous. Bien que cette évolution puisse revêtir des formes légèrement différentes suivant la nature de l'erg et du sol, les mécanismes mis en jeu semblent être les mêmes.

Nous prendrons comme exemple une plage nue incluse dans le périmètre de mise en défens situé à proximité de Gossi (Toposéquence GOS IV au niveau du profil 46, fig. 1 et 4 ; photo 6, Pl. I). La mise en défens, bien respectée, permet en effet d'envisager une évolution naturelle de la régénération.

Vers l'aval de la plage érodée, la surface nue durcie présente :

- quelques fines fentes sinueuses de moins de 1 mm de large,
- puis des plages de sables déliés sans végétation, à microrides, de 1 à 2 cm d'épaisseur dans lesquelles les fentes, plus larges se prolongent,
- et enfin des plages de sable discontinues, légèrement durcies et encroûtées en surface mais *très poreuses* dessous, qui supportent une strate graminéenne haute et dense à *Schoenfeldia gracilis* et *Aristida mutabilis* dominantes ou exclusives (Photos 4 et 5, Pl. II).

La croûte de surface est le plus souvent masquée par un fin dépôt de sables déliés. Les lames minces de ces échantillons imprégnés sur place, per-

mettent d'observer, de la profondeur vers la surface (Photos 1, 2 et 3, Pl. II)

- l'horizon (B) de la surface nue amont, coiffé de la croûte argilo-limoneuse. On peut remarquer l'assemblage compact, la porosité très faible et la relative abondance de la matrice argilo-limoneuse qui emballe le squelette quartzeux de cet horizon (Photo 3, Pl. II) ;

- un dépôt médian de sables plus grossiers, sans matrice, à très forte porosité vacuolaire. L'épaisseur de ce dépôt est en moyenne de 2-3 cm. Une croûte de surface plus mince et plus fragile que celle du bas, d'aspect lité ou pelliculaire s'interrompt au niveau des fissures verticales et n'incorpore pas les grains de sable sous-jacents (Photo 2, Pl. II) ;

- enfin un dépôt superficiel et discontinu de sables peu cohésifs à matrice fine assez pauvre (Photo 3, Pl. II).

Le dépôt médian à forte porosité contient de nombreuses graines visibles dans les lames minces (Photo 6, Pl. II) et un essai de germination en vase de cette tranche d'horizon au laboratoire, a donné des résultats spectaculaires.

Voici comment peuvent s'interpréter ces observations.

Après troncature jusqu'à l'horizon (B) du sol et formation de la croûte de battance selon le processus décrit plus haut, la partie aval de la surface érodée a été recouverte par les sables non cimentés et dispersés provenant de la zone amont encroûtée et entraînés par l'eau de ruissellement. La texture uniquement sableuse et le mode de mise en place, conduisent au dépôt médian très poreux capable de piéger et de stocker les graines emportées par le vent entre deux pluies. Vers la fin de la saison des pluies, tout le sable de surface de la zone nue amont ayant été entraîné, une partie de la frange colmatée peut être enlevée par l'érosion en nappe et les éléments fins, mis alors en suspension vont aller former la pellicule litée de battance qui recouvre le dépôt médian. Les graines emportées par le vent de saison sèche vont se rassembler préférentiellement dans les fissures verticales qui affectent cette pellicule et les sables sous-jacents (cf. LEPRUN, 1978, Photo 2).

L'infiltration préférentielle de l'eau dans ce niveau sableux très poreux peut s'effectuer soit en partie verticalement par les fissures, soit aussi, et surtout latéralement, par l'eau qui ruisselle sur l'impluvium que constitue la surface amont. Le stockage et le maintien de l'eau sont réalisés grâce à deux conditions favorables :

- le blocage du front d'humectation sur la croûte imperméable de l'horizon (B) ;
- l'effet de "mulch" de la pellicule de battance qui va limiter l'évaporation.

Poreux, c'est-à-dire aérés, mais capables d'accueillir et de retenir l'eau, riches en graines, ces fins dépôts sableux sont à l'origine de la régénération du couvert herbacé et à la recolonisation des plages érodées sur sables dunaires fixés du Gourma. Si ces dépôts se maintiennent et s'accroissent, la régénération des espèces ligneuses peut alors se faire (*Acacia sénégāl*, *Ac. raddiana*..). Après leur germination au sein des sables poreux de surface, les plantules peuvent enfoncer leurs racines dans l'horizon (B) plus argileux et plus riche en éléments nutritifs, se fixer et croître.

c) Etude des bandes nues des formations de "brousse tigrée"

Comme dans le cas précédent, les zones amont et aval des surfaces érodées sont étudiées. L'exemple choisi ici est celui de la chaîne de sols GOS II située à 17,5 km de Gossi (fig. 1) et déjà étudiée les années précédentes.

Les échantillons indurés et prélevés se situent sur le versant de la microdune (segment BC de la figure 5). La partie amont de ce segment est entièrement nue. La surface prend un aspect glacé et comporte une croûte blanche argilo-limoneuse (Photos 1 et 2, Pl. III).

Les lames minces de la partie amont indurée (Photo 3, Pl. III) présentent en surface et sur 1 à 2 mm d'épaisseur, une structure plus dense, une proportion d'éléments fins plus élevée et une porosité tubulaire fine très faible. La micro-organisation est semblable à celle des zones nues sur sables dunaires. Il ne s'agit pas d'une croûte de battance mais plutôt d'une cimentation de squelette quartzeux par un amalgame non orienté d'argiles et de limons. On peut avancer pour expliquer la formation de cette frange durcie les mêmes mécanismes que pour les "coups de cuiller" sur sables. La perméabilité de surface est faible (0,5 cm/heure en moyenne). Dessous, la porosité de type tubulaire clos ou vacuolaire est mieux développée mais la structure massive persiste. La perméabilité ne dépasse pas 1 cm/heure.

Lorsque l'on descend le versant, l'apparition de la croûte blanche correspond, sous le microscope, à des lits très fins alternativement argilo-limoneux et limono-sableux fins de 0,3 à 0,5 mm d'épaisseur en moyenne, parallèles à la surface, qui recouvrent la surface durcie précédente. Au très fort grossissement du microscope, la classe granulométrique dominante de ces lits correspond à celle des limons fins. Ces limons sont constitués le plus souvent par les paillettes de mica muscovite issues des schistes sous-jacents. Ils se disposent et se recouvrent les uns les autres à la manière de tuiles d'un toit, ce qui rend ces lits parfaitement imperméables (perméabilité < 0,1 cm/heure). La porosité des lits fins est quasi nulle, la porosité des lits de sa-

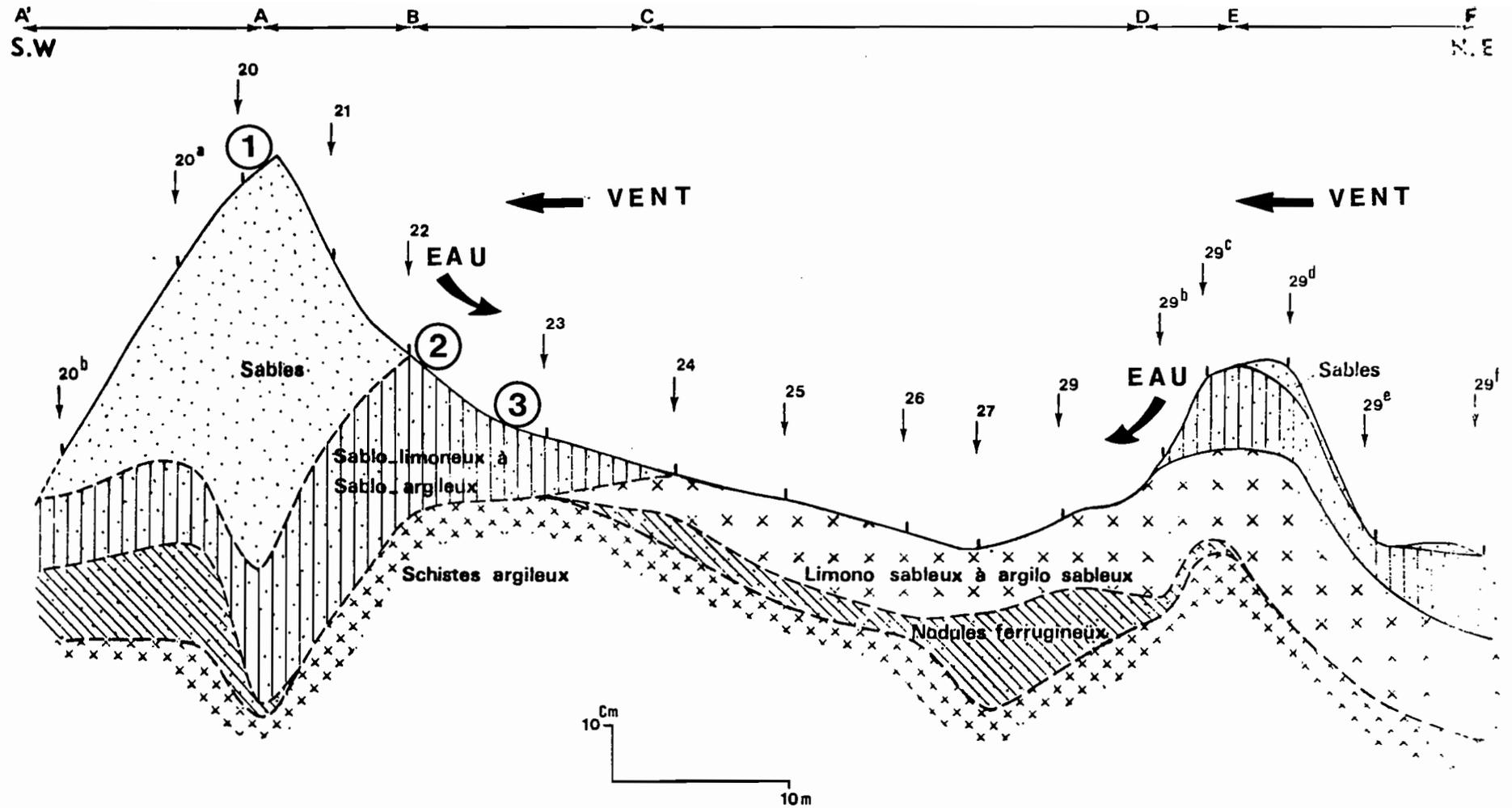


FIG.5. Chaîne de sols gosII « Brousse Tigrée ».

bles fins est très faible. Le nombre de lits s'accroît vers l'aval et l'épaisseur de la croûte atteint et peut dépasser le centimètre (Photo 4, Pl. III).

Entre les lits fins et les lits plus grossiers sableux apparaissent au fort grossissement sous le microscope, des graines de graminées qui s'avèrent être le plus souvent, des caryopses de *Schoenfeldia gracilis* prolongés de leur arête flexueuse caractéristique (Photo 5, Pl. III). Le dépôt des éléments fins au dessus de l'arête qui forme obstacle, crée un vide et empêche le remplissage sous l'arête. Privées d'eau et d'air, ou alors engorgées et asphyxiées, ces graines ne peuvent germer. Le nombre de graines piégées entre les lits fins est important (Photo 6, Pl. III). En effet, de nombreuses graines sont visibles dans les lames minces et d'autre part, ameublie et humectée en vase, cette croûte fournit une germination importante. Ceci prouve que les graines gardent pendant plusieurs années leur pouvoir germinatif. Ce fait est renforcé par l'observation courante de traces de passage de véhicules lourds recolonisées fidèlement l'année suivante par une strate herbacée graminéenne fournie. Ecrasés et disjoints sous les roues du véhicule, les dépôts lamellaires peuvent s'humecter et les graines ainsi germer.

Il a été montré les années précédentes que la dynamique de la végétation de ces zones était rapide, et que la formation de "brousse tigrée" se déplaçait perpendiculairement à la direction du vent. Lorsque la microdune avance et que l'érosion hydrique attaque et dégage les lits fins, les graines piégées sont libérées puis remises en mouvement par le vent et vont s'accumuler dans les sables meubles du sommet de la microdune. Elles peuvent alors soit germer de suite, soit germer au cours de la saison des pluies suivante.

Le résultat des analyses de la tranche superficielle (1 à 3 cm) des sols, consigné dans le tableau I, permet de mettre en évidence l'entraînement, non seulement des éléments fins (argiles + limons fins) de l'amont vers l'aval, mais également des éléments nutritifs (carbone, azote, bases échangeables, phosphore ...).

Il y a appauvrissement des parties hautes érodées au profit des parties basses colmatées. La comparaison entre les chiffres de richesse chimique très faibles des sables de la zone 1 densément colonisés par la végétation herbacée et les chiffres élevés des zones nues 2 et 3 apporte la preuve que les contraintes de germination et de régénération sont *d'ordre physique et non chimique*. Dans cette zone climatique, les couvertures de sables éoliens meubles constituent les substrats les plus favorables à la régénération des pâturages.

Tableau I

Résultats analytiques de quelques prélèvements de surface de la toposéquence GOS II (fig. 5)

Déterminations	Zone (1) microdune	Zone (2) Amont plage nue	Zone (3) Aval plage nue
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 bases S (m ^é q/100 g.)	0,86	3,22	12,64
Phosphore total ‰	0,16	0,31	0,64

II. CONNAISSANCE DE LA DYNAMIQUE DES PEUPELEMENTS VEGETAUX SAHARO-SAHELIENS ET SAHELIENS ET LES RAPPORTS SOL-VEGETATION

a) La dynamique des peuplements végétaux saharo-sahéliens

1 - Etudes en cours

Durant trois années consécutives (1975-76-77), en étroite collaboration avec les écologistes de l'Université de Nice, de nombreux points d'étude par toposéquences ont été implantés au Mali entre la frontière du Niger et celle de l'Algérie (fig. 2 et 3), afin de préciser la composition floristique et l'écologie des différentes espèces ou groupements végétaux. La pluviométrie de cette zone apparaît sur la figure 6.

Les relevés floristiques exhaustifs ont été effectués. Les sols ont été décrits, prélevés et analysés. Le nombre de déterminations physico-chimiques de laboratoire dépasse 1500. L'élaboration du programme statistique des données floristiques et analytiques a été menée à bien par M. ROUX du laboratoire de statistiques de l'Université de Paris XI. La mise au point de ce programme a été longue et difficile. En effet, il s'agissait de croiser les données floristiques et pédologiques *en fonction des divers horizons du sol* et non en fonction du sol entier comme cela se fait ordinairement. Ce traitement par horizons distincts s'est imposé par les observations de terrain qui seront présentées ci-dessous. Il en résulte un système de traitement statistique *original et complet*.

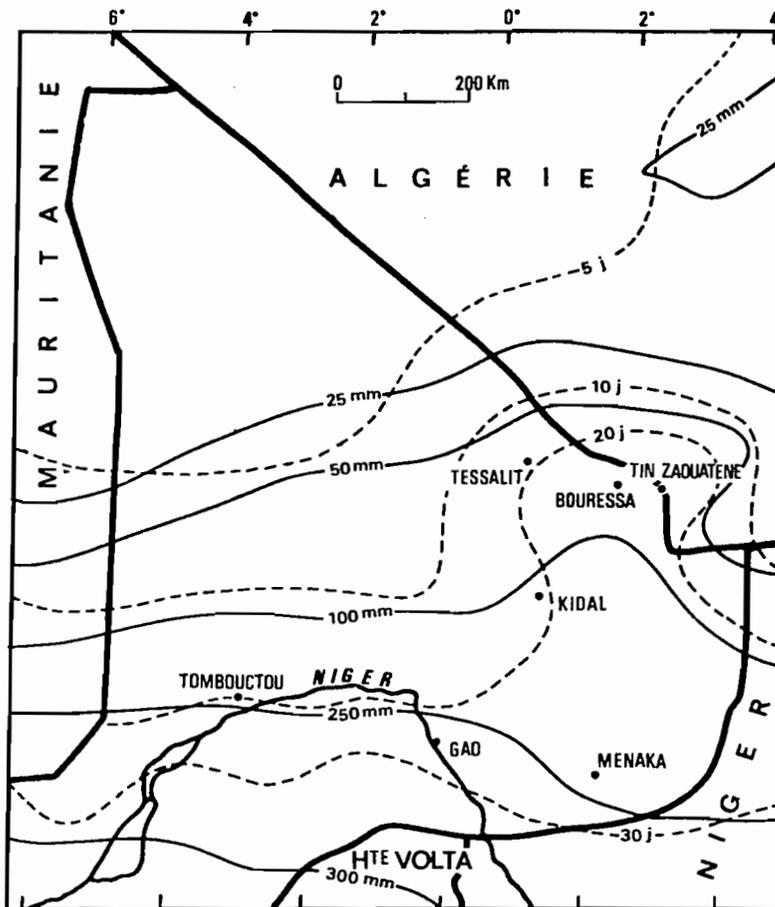


FIG.6. Pluviométrie (moyennes annuelles et nombre de jours)

Le traitement a été effectué à Nice à l'aide de l'ordinateur CII - IRIS 50 du centre universitaire de calcul de Nice-Toulon. La longueur et la difficulté des opérations de fichage, de programmation et de dépouillement expliquent le retard pris pour la confection du rapport dont la sortie est prévue pour le premier trimestre 1980.

2 - Bilan de ces études

Ce bilan est fructueux. Sans vouloir entrer dans le détail, ce qui sera fait dans le rapport, les résultats obtenus mettent en évidence *de manière scientifique* :

- Les rapports extrêmement étroits entre les sols et la végétation qui leur est liée. Ces relations sont non seulement d'ordre physique (granulométrie ...) mais aussi d'ordre chimique (richesse en bases, présence de calcaire ...) et physico-chimique complexe (structure du sol par exemple).

- *L'écologie large des différents groupements végétaux* (rapport pédologie-phytosociologie).

- *L'écologie plus stricte de différentes espèces*, grâce à l'obtention de "fourchettes" de valeurs plus ou moins étroites des différents paramètres analytiques.

3 - *Les observations sur la dynamique des peuplements végétaux*

Le suivi de mêmes transects deux ou plusieurs années de suite le long de la vallée fossile du Tilemsi par exemple (toposéquences TIL I, II, IFO IV et relevés des formations végétales le long d'itinéraires connus et balisés au compteur hectométrique) indique que les *variations inter-annuelles de la végétation herbacée et même arbustive sont très importantes*. Seule, la strate arborée des zones déprimées et des talweg peut être considérée comme constante. Ainsi, de grandes étendues planes entre Anéfis et Aguelhok (fig. 3) recouvertes en 1976 par un tapis discontinu de recouvrement (30 à 40 %) à *Aristida mutabilis*, *Aristida adscensionis*, *Schoenfeldia gracilis* ... étaient entièrement nues l'année suivante. De même, l'abondance de différentes espèces graminéennes (*Aristida hordacea* et *Schoenfeldia gracilis* par exemple) de zones faiblement déprimées peut varier de manière importante d'une année sur l'autre.

D'autre part, il suffit quelquefois du déplacement d'une ride sableuse sur les longs glacis peu pentus de ces zones, pour faire bifurquer radicalement l'écoulement hydrique le long de ces glacis et ainsi provoquer, d'un côté la disparition progressive de la strate ligneuse, de l'autre, celui qui bénéficie de l'apport en eau, la régénération de cette strate.

On peut donc avancer que dans cette zone, saharo-sahélienne, la *dynamique de la végétation est extrêmement rapide et le plus souvent aléatoire*. Il en résulte que les formations végétales herbacées et même arbustives *ne sont constantes ni dans le temps ni dans leur composition floristique*. Ces caractères fluctuants sont dus à un grand nombre de facteurs dont :

- la présence, le piégeage et la dissémination des graines qui diffèrent d'une année sur l'autre et qui dépendent du régime et de la force des vents, de l'activité des animaux, de l'état de la surface du sol...
- la germination des graines qui dépend de leur état, de l'espèce, de l'abondance, de la fréquence et de la répartition des pluies, du milieu pédologique ...

4 - *L'influence du facteur sol*

Le sol intervient à trois niveaux différents : *piégeage, germination des graines et développement de la plante*. Le piégeage et la germination néces-

sitent un milieu d'accueil favorable (structure fine bien développée, présence de fentes...). Le colmatage et l'encroûtement constituent des milieux défavorables. Le développement de la plante après la germination et la fixation de la plantule demandent la présence d'un horizon sous-jacent pas trop éloigné de la surface et capable de stocker l'eau qui servira à la croissance de la plante annuelle jusqu'à sa maturité. Ainsi, si la germination du *Schouwia purpurea* est grandement facilitée au sein d'un horizon sableux meuble de surface, la présence d'un horizon plus compact à teneur en éléments fins élevée, capable de retenir l'eau, est *indispensable au développement optimum* de la plante qui adulte dépasse 1 m de haut. En l'absence d'un tel horizon, ou si celui-ci est situé à trop grande profondeur, les jeunes *Schouwia* jaunissent et meurent alors qu'ils n'ont que 2 ou 3 décimètres de hauteur.

La quasi totalité des sols de la zone saharo-sahélienne étudiée comporte des horizons de surface qui comme la végétation qui les surmonte *ont une dynamique rapide*. Il s'agit soit de sols peu différenciés sur des matériaux d'apport sableux d'origines diverses, éolienne, fluviatile, mixte... soit des sols bien différenciés, sols bruns, vertisols ..., riches en éléments fins, bien structurés, recouverts par un horizon sableux de transit. Au fur et à mesure que l'on monte en latitude, ces sols bien différenciés ne sont plus en équilibre avec les conditions actuelles de pédogenèse et sont alors considérés comme des sols "fossiles". En réalité, recouverts d'un mince voile sableux fluctuant, ces sols peuvent accueillir une végétation herbacée dense dont les racines profondes vont participer à la *pédogenèse active de ces sols dits "fossiles"*.

5 - Conséquences

Le caractère fluctuant et aléatoire de la présence de la végétation et de l'horizon supérieur des sols et la dynamique rapide de cette végétation et de cet horizon ont des conséquences importantes.

- *La cartographie de la végétation n'est pas réalisable* et en particulier la cartographie phytosociologique qui nécessite la *présence et la permanence* d'une ou plusieurs espèces caractéristiques. Seule la cartographie des potentialités des substrats peut lui être substituée, en tenant compte du caractère temporaire de l'horizon sableux de surface.

- A l'exception des talwegs, les arbres et arbustes sont jeunes, leur remplacement est rapide et continu. Cette dynamique rapide peut donner une idée catastrophique et pessimiste de l'évolution actuelle du couvert végétal. L'arbre mort se voit mieux que celui qui naît.

- Il n'en reste pas moins que cette dynamique confère à la végétation une certaine fragilité et qu'il suffit d'une période de sécheresse assez longue ou sévère comme celle du début de cette décennie pour que le remplacement des individus morts ne soit plus assuré. Il s'en suit un arrêt de la régénération, un remplacement médiocre des espèces disparues par des espèces à écologie plus sèche, et surtout *la première année de sécheresse, une exploitation intense* par l'homme et sa machette pour alimenter un cheptel encore intact et qu'il désire conserver comme tel. *Ce décalage* qui se crée entre le maintien du cheptel et de sa charge et la rapide dégradation du potentiel fourrager en début de la période de sécheresse est sans doute l'élément le plus préjudiciable à l'équilibre écologique de ces zones.

Le même décalage, mais en sens inverse, s'instaure au début de la nouvelle période de bonne pluviométrie. Il aide alors à la régénération de la végétation la charge du bétail étant alors faible. C'est ce qui se passe actuellement dans la zone d'étude. -

b) La dynamique des peuplements végétaux sahéliens. Exemple des formations de "brousse tigrée"

1 - Rappels

Les "brousses tigrées" sont des formations végétales formées d'une alternance de bandes boisées parallèles, séparées par des bandes nues. La figure 5 fournit une coupe longitudinale des sols d'une telle formation. Il a été mis en évidence dans les rapports précédents (LEPRUN, 1975, 1978) un déplacement des bandes de "brousse tigrée" parallèlement à elles-mêmes. Ce déplacement est dû à l'action conjuguée du vent et de l'érosion hydrique selon la direction des vents dominants et l'orientation des formations sédimentaires. *Assez rapide* (entre 10 et 30 cm par an en moyenne) en zone sahélienne nord, cette dynamique *se ralentit* en zone sahélienne médiane et est *stoppée* dans la zone sahélienne méridionale. On passe successivement des faciès de "brousse tigrée" linéaires, aux faciès flexueux et incurvés puis à la "brousse ponctuée" et enfin à la savane discontinue.

2 - Importance du facteur édaphique

Sur une coupe transversale de "brousse tigrée" (fig. 5), la végétation ne se dispose qu'en deux endroits : l'une arbustive et arborée dense en bordure de la zone basse (segment DE), l'autre herbacée ou arbustive basse sur la microdune (segment AA'). Les autres segments sont nus. La présence et le développement de la strate herbacée au sommet de la microdune et la dénudation du versant par érosion en nappe et colmatage ont été interprétés plus haut. La

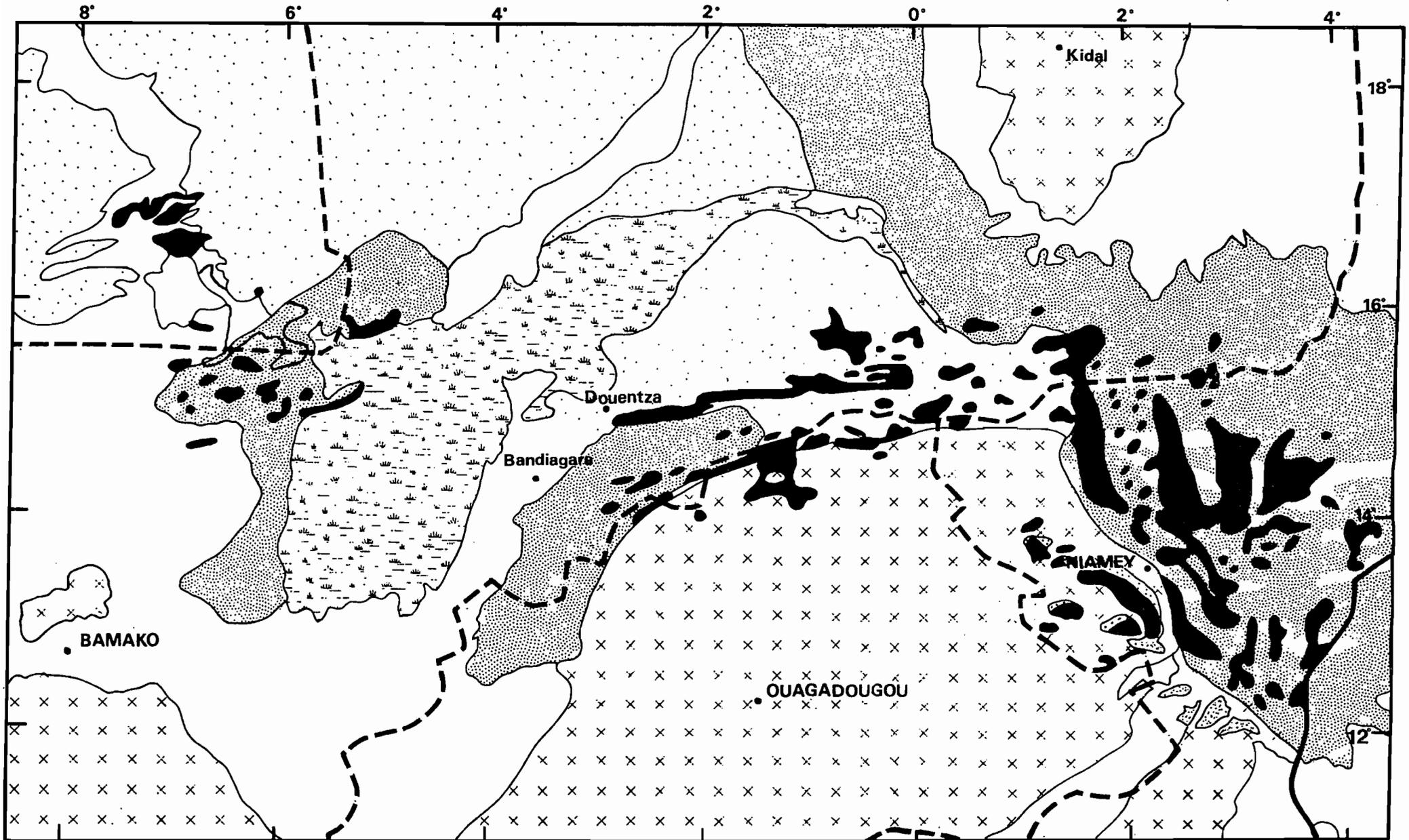
bande boisée dense peut se mettre en place et persister, même en position latitudinale haute à faible pluviométrie, grâce à la concentration des eaux pluviales après ruissellement sur les versants encroûtés situés de part et d'autre. Les sols qui supportent ces bandes boisées denses sont des sols structurés riches en éléments fins, à faciès hydromorphe ou solonchiqué dont les matériaux proviennent pour partie de l'altération des schistes argileux et pour partie de l'apport par érosion des zones amont. L'eau qui se rassemble et stagne dans cette partie déprimée sans exutoire, peut s'infiltrer grâce aux fentes et à la porosité structurale élevée de ces sols, dont la capacité de rétention est élevée. Elle équivaut en moyenne à 300 mm d'eau par mètre de sol soit environ dix fois plus que la capacité de rétention des sols sableux de la microdune (30 mm/mètre en moyenne). L'évaporation très réduite du fait de la présence d'un feutrage organique peu ou non décomposé en surface et de la couverture végétale dense haute permet la conservation de l'humidité 4 à 5 mois après la fin de la saison des pluies.

Il a été montré (LEPRUN, 1978, fig. 13) que les formations de "brousse tigrée" dans le Gourma et le Séno-Mango se limitaient exclusivement aux sols développés sur les formations sédimentaires planes. L'extension de la "brousse tigrée" par rapport aux formations géologiques en Afrique occidentale (fig. 7) confirme cette dépendance. S'il arrive qu'elle déborde très localement sur le socle cristallin précambrien pour former des îlots de "brousse ponctuée" ou "mouchetée" au Nord de la Haute-Volta, elle descend bien plus au Sud, jusqu'au niveau du 12° en contournant ce socle, grâce à l'extension des grès argileux du Continental terminal au Niger.

Les formations de "brousse tigrée" du Gourma malien sont donc limitées au Sud par la présence du socle cristallin et au Nord par l'extension généralisée des sables dunaires fixés quaternaires (ergs II et III principalement). *Cette limite Nord n'est donc pas climatique mais édaphique.* En effet, il suffit que le substrat sédimentaire plat soit dégagé de son manteau éolien, pour que les taches de "brousse tigrée" réapparaissent. (Ainsi au Nord u 16° en Mauritanie, fig. 7).

3 - Composition floristique de la "brousse tigrée" suivant le gradient latitudinal

L'étude de plus d'une dizaine de toposéquences recoupant des "brousses tigrées" échelonnées entre le 14ème et le 16ème degré Nord permet de constater que le nombre d'espèces communes à ces formations et donc ubiquistes est important. Il s'agit des principales espèces suivantes de la strate arborée : *Pterocarpus luscens*, *Boscia senegalensis*, *Euphorbia balsamifera*, *Grewia bicolor*,



Formations dunaires



Dépôts continentaux



Continental terminal III



Séries sédimentaires II et I



Socle précambrien



Brousse tigrée



FIG.7 . Extension des formations de brousse tigrée et des formations géologiques

Maerua crassifolia, *Ziziphus mauritiana*, *Commiphora africana* ... et de *Schoenfeldia gracilis*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Panicum laetum*, *Pennisetum pedicelatum*, *Andropogon gayanus* ... pour la strate herbacée.

On peut de suite remarquer que ces espèces, dont la présence au sein de la "brousse tigrée" est notée jusqu'au 16°30 N en Mauritanie orientale (AUDRY et ROSSETI, 1962) se trouvent pour la plupart, et *Pterocarpus luscens* et *Andropogon gayanus* en particulier, avec une sociabilité élevée, bien plus au Nord que ce qui est considéré comme la limite septentrionale de leur aire (AUBREVILLE, 1950 ; URVOY in PALAUSI, 1958 ; GALLAIS, 1972 ...). Cela signifie que les bandes boisées de "brousse tigrée" constituent des jalons contractés avancés d'espèces à affinité sud-sahélienne et soudanienne dans les régions nord-sahéliennes et saharo-sahéliennes. Les espèces à écologie plus humide retrouvent dans le biotope privilégié que constituent ces bandes boisées, des conditions de milieu qui équivalent à celles dont elles disposent plus bas en latitude. De la même manière que les sols du Gourma sableux sont en déséquilibre avec les facteurs de la pédogenèse actuelle, les sols des bandes boisées, bien alimentés en eau ne *représentent pas la tendance pédogénétique médiane et zonale*, qui est bien plus sèche.

4 - Conséquences

Elles sont nombreuses.

- Toute la biologie et l'écologie vont être influencées par les conditions de milieu particulièrement favorables des bandes boisées. On peut noter ainsi, associée à la "brousse tigrée", l'avancée vers le Nord et en dehors de leur zone bio-climatique habituelle, des espèces soudanienne de Termites à constructions épigées hautes (*Bellicositermes bellicosus*, *Bell. natalensis*, *Trinervitermes oeconomus* ...), de nombreux rongeurs (*Xerus sp.*, *Jaculus jaculus*, *Acomys* ...) et gibier à plumes caractéristique des savanes arborées sahélo-soudanienne (Pintades, francolins ...).
- Constituant des jalons septentrionaux avancés de la végétation de zones plus humides, les espèces végétales qui sont alors placées à la limite extrême de leur aire sont sous la dépendance étroite des variations climatiques inter-annuelles et pratiquement en "survie". Qu'une longue période de sécheresse s'installe et la "brousse tigrée" qui continue à avancer, va perdre ses espèces les plus exigeantes au profit d'espèces plus sèches. C'est ainsi que nombre de *Grewia bicolor* et *flavescens* ont été remplacés par des *Acacia erhenbergiana* et *senegal* les années précédentes.
- Testées avec succès et préconisées dans les régions sud-sahéliennes (TOUTAIN, 1977, entre autres), les méthodes de régénération mécanique à l'aide de scarificateurs ne sont pas à envisager dans le Gourma. En effet, si le passage du

scarificateur le long des bandes nues permettrait effectivement leur recolonisation, l'eau des faibles précipitations (250 à 400 mm) ainsi retenue serait alors perdue pour la bande boisée qui, comme en période de sécheresse, péricliterait. On favoriserait ainsi la régénération d'un couvert herbacé d'espèces annuelles au dépend d'une strate ligneuse vivante et dense et de l'écosystème en équilibre qu'elle constitue. Ce n'est que plus bas en latitude, sous 500 à 600 mm de pluie que cette technique serait à développer, sur les grands glacis dénudés sans végétation contractée.

D. CONCLUSIONS

Très exploités au début de la grande sécheresse des années 1970-1975, affectés profondément par cette sécheresse, toutes les observations de ces dernières années convergent pour rendre compte du pouvoir de régénération spectaculaire et insoupçonné de la végétation et des pâturages du Gourma malien lié à un retour à la "normale" de la pluviométrie. Cette régénération se traduit aussi bien dans la recolonisation des zones érodées sur sols sableux que dans la germination des ligneux sur les sols limoneux et argileux. Il convient d'en conserver les effets en mettant en place et en assurant une utilisation et une gestion rationnelle de l'espace pastoral (cf. rapport de fin d'étude rédigé par G. BOUDET, 1979).

Des publications à grande diffusion sont prévues, dont certaines sont en cours d'élaboration et concernent :

- Les rapports sols-végétation en milieu saharo-sahélien. Données écologiques (en collaboration avec les écologistes de Nice et M. ROUX).
- les sols du Gourma malien. Principaux caractères. Conditions de pédogenèse.
- Les sols dits "fossiles" du Sahara et de ses bordures (en collaboration avec MM. CELLES et MANIERE).
- Etude d'un écosystème original et complexe : la "brousse tigrée" sahélienne...

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE A. (1950) - Flore forestière soudano-guinéenne. Soc. Ed. géogr. marit. et colon. Paris, 523 p.
- AUDRY P., ROSSETI 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. FAO 24067/F/1, Rome
- BOUDET G. (1979) - Etude de l'évolution d'un système d'exploitation sahélien au Mali ; études phyto-sociologiques et ethno-botaniques au Mali. Compte-rendu de fin d'étude. Rapp. multigr. GERDAT et I.E.M.V.T. Paris, 50 p.
- GALLAIS J. (1972) - Le delta intérieur du Niger et ses bordures. Etude morphologique. Mém. et docum. Centre Rech. et docum., carto et géogr. C.N.R.S., vol. 3, 153 p., cartes.
- LEPRUN J.C. (1976) - Rapport préliminaire de la mission pédologique dans le Gourma du Mali. A.C.C., D.G.R.S.T. "Lutte contre l'aridité en milieu tropical". Rapp. ronéo. multigr., O.R.S.T.O.M. et D.G.R.S.T., Dakar, 25 p.
- LEPRUN J.C. (1977) - Etude de l'évolution d'un système d'exploitation sahélien au Mali. Pédologie. Rapport de campagne 1976. Rapp. multigr. O.R.S.T.O.M. Dakar, 18 p.
- LEPRUN J.C. (1978) - Etude 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. O.R.S.T.O.M. Paris, 45 p.
- PALAUZI G. (1958) - Contribution à l'étude géologique et hydro-géologique des formations primaires au Soudan méridional et en Haute-Volta. *Bull. Serv. Géol. et Prosp. min.* 33, 209 p.
- TOUTAIN B. (1977) - Essais de régénération mécanique de quelques parcours sahéliens dégradés. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop.*, 30, (2), p. 191-198.

PLANCHES

PHOTOGRAPHIQUES

PLANCHES

Planche I -

1. Plage nue sur le versant d'une dune fixée de l'erg II.
2. Bordure d'une plage nue érodée en "coup de cuiller" à la base d'un acacia et mise à l'affleurement des racines.
3. Macrophotographie de la partie supérieure de la plage érodée.
(S = surface)
4. Microphotographie de la partie supérieure de la plage érodée.
(Q = quartz, S = surface)
5. Plage érodée en "coup de cuiller" avec zone nue durcie en haut et microdunes sableuses en bas.
6. Zone de mise en défens sur le versant de la dune de la toposéquence GOS IV.

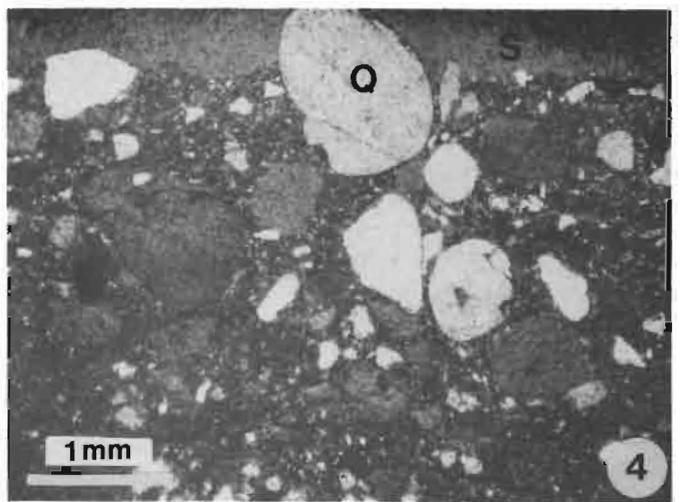
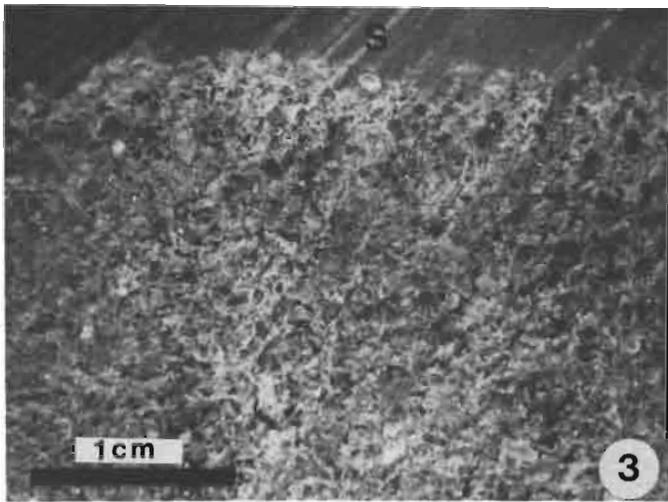


Planche II -

1. 2. 3. Microphotographies des dépôts sableux de régénération des plages érodées. (B) = horizon (B) tronqué, C_1 = encroûtement de cet horizon (B), C_2 = croûte litée de surface, DS = dépôt superficiel, DM : dépôt médian meuble à très forte porosité. Les limites horizontales rayées indiquent que les photographies ne représentent qu'une portion des dépôts.
4. Fouille de surface de la plage érodée recolonisée (partie aval).
5. Aspect poreux vacuolaire du dépôt sableux médian.
6. Microphotographie. La flèche indique la coupe d'une graine (*Cenchrus* ?) piégée au sein du dépôt médian. C_2 = croûte litée de surface.

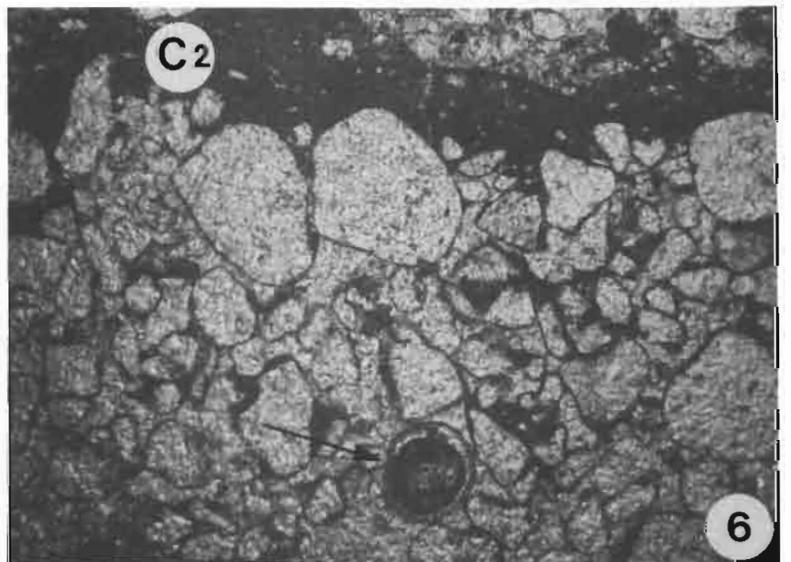
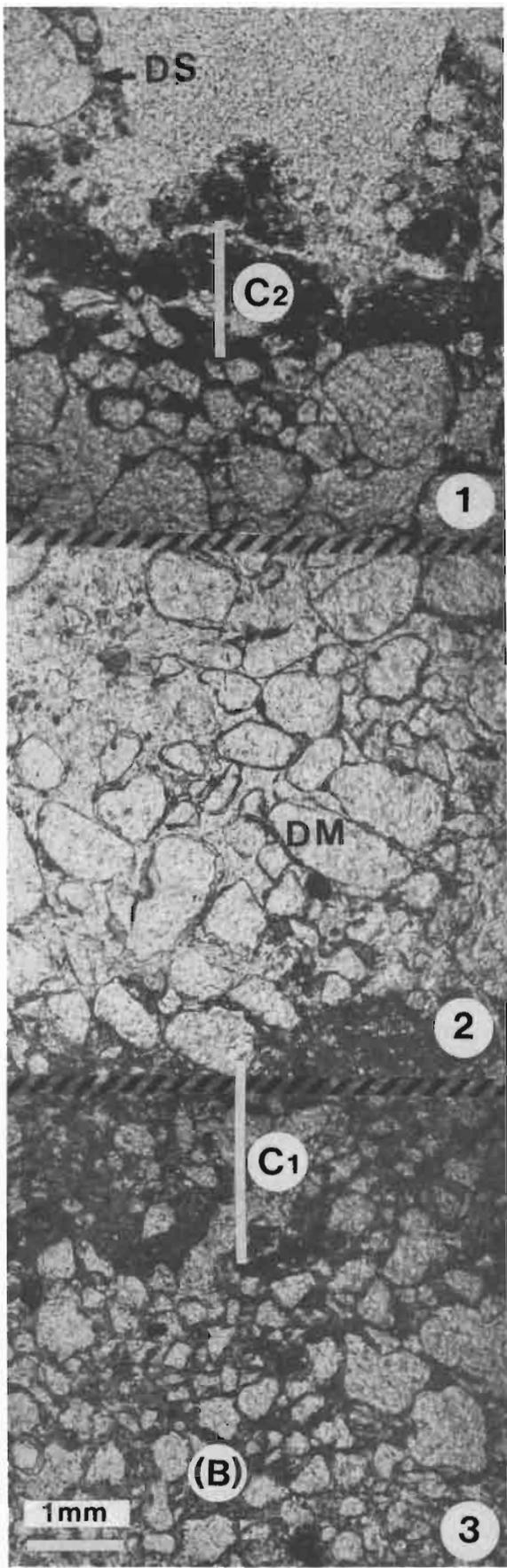


Planche III -

1. Vue de la microdune et du versant érodé et encroûté de la toposéquence GOS II (cf. fig. 5). 22 et 23 = numéros des fosses pédologiques. A = partie amont érodée. C = partie avale encroûtée.
2. Aspect superficiel de la partie encroûtée.
3. Macrophotographie de la partie supérieure de la zone érodée amont.
C = cimentation de surface.
4. Macrophotographie de la croûte pelliculaire de la zone aval.
5. Microphotographie de la croûte pelliculaire avec une coupe de graine de *Schoenfeldia gracilis*, son arête et son caryopse (flèche). Q = quartz, V = vide sous la graine.
6. Macrophotographie de la croûte pelliculaire. G = lit à piégeage préférentiel des graines.

