

SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE

SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE

DELEGATION GENERALE
A LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

DELEGATION GENERALE
A LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

A.C.C. - LUTTE CONTRE L'ARIDITE EN MILIEU
TROPICAL

"SYSTEMES DE PRODUCTION D'ELEVAGE AU SENEGAL"

Effets du pâturage et du piétinement
sur la dégradation des sols autour
des points d'eau artificiels en
région sahélienne (FERLO ,
NORD SENEGAL)

par

C. VALENTIN

Laboratoire de Pédologie
O.R.S.T.O.M.

février 1983

B.P. V51 - ABIDJAN - Côte d'Ivoire

INSTITUT SENEGALAIS
DE RECHERCHES AGRICOLES

Centre National
de recherches forestières
de Hann

Laboratoire National
d'Elevage et de Recherches
Vétérinaires de Hann

O.R.A.N.A.
Dakar

O.C.C.G.E.
Centre Muraz

Groupement
d'Etudes et de Recherches
pour le Développement de
l'Agronomie Tropicale
G.E.R.D.A.T.

Institut d'Elevage et de
Médecine Vétérinaire des
Pays Tropicaux
I.E.M.V.T.

Centre Technique Forestier
Tropical
C.T.F.T.

Office de la Recherche
Scientifique et Technique
Outre-Mer
O.R.S.T.O.M.

S O M M A I R E

	Pages
RESUME	2
INTRODUCTION	3
LA REGION D'ETUDE	4
METHODOLOGIE	8
RESULTATS	10
Caractères de la surface du sol dans les zones témoins	10
Evolution de la surface du sol dans les zones perturbées	12
DISCUSSION	18
Evolution du couvert végétal	18
Compaction des sols	19
Encroûtement superficiel des sols	20
Erosion éolienne	24
Erosion hydrique	25
CONCLUSION	25
BIBLIOGRAPHIE	29
PLANCHES BIBLIOGRAPHIQUES	35

Les pasteurs nomades de la région sahélienne du Nord du Sénégal devaient quitter chaque année pendant neuf mois ce qui naguère était encore "Le désert du FERLO". C'est au cours des années 50 que le forage de nombreux puits profonds a permis le maintien permanent d'un important bétail. Des recherches ont récemment été menées pour évaluer l'effet que pouvaient provoquer sur l'évolution des sols de telles mutations du système pastoral. Trois sites ont été sélectionnés; les échantillons ont été prélevés, et les mesures réalisées à l'intérieur de cercles concentriques autour de ces trois forages. Contrairement à l'hypothèse initiale, c'est dans les zones les plus éloignées des points d'eau que les surfaces dépourvues de végétation et couvertes de pellicules sont les plus abondantes. Elles résultent apparemment davantage de processus naturels (climatiques et pédologiques) que de l'action du piétinement et du pâturage. L'évolution de la surface du sol au fur et à mesure que l'on se rapproche des points d'eau dépend de la texture du matériau pédologique: dans le cas des sols sableux, un horizon bouillant couvre peu à peu la totalité de la surface; il limite l'érosion hydrique mais est lui-même très sensible à l'érosion éolienne. Lorsque les sols sont plus limoneux et gravillonnaires, les signes de dégradation peuvent être beaucoup plus marqués. Le retour de la pluviométrie à un niveau plus proche de la moyenne entraîne une régénération de la végétation naturelle qui surprend par sa rapidité, et qui s'accompagne d'une diminution des surfaces nues et pelliculaires et d'un début de restauration des sols. L'échec des projets de reforestation provient souvent du manque de données sur les différents types de milieux.

INTRODUCTION

Lorsque STEBBING (1937) mit en évidence le rôle des variations climatiques sur l'avancée du Sahara vers le Sud, ses conclusions se virent presque immédiatement contredites par les observations d'une commission anglo-française (PATTERSON & al., 1937) qui tendaient à montrer que dans la plupart des cas la dégradation des sols était imputable à l'action de l'homme.

Cette mise en garde s'est vue actualisée et amplifiée lors de la très grave sécheresse des années 70 qui a sévi dans l'ensemble des pays sahéliens. Pour de nombreux auteurs (BOUDET, 1972. DELWAULLE, 1973. BOUGERE, 1979. ZONNEVELD, 1980), le surpâturage et le piétinement du bétail, particulièrement à proximité des points d'eau, sont parmi les premiers responsables de la dégradation des sols, et, par voie de conséquence, de la désertification de cette zone. Les travaux qui démontrent le rôle du bétail sur l'érosion restent cependant assez rares dans le Sahel en dépit de l'importance du problème.

Une grande région du Nord du Sénégal a attiré l'attention des scientifiques. Il y a moins de trente ans, elle était encore appelée " Le désert du Ferlo " : chaque année, au moment où les mares naturelles s'asséchaient après la saison des pluies, les troupeaux devaient être conduits en dehors de cette zone pourtant riche en pâturages mais dépourvue de points d'eau permanents. Le Ferlo restait ainsi vide d'hommes et de bétail, neuf mois par an. Après la mise

en service de nombreux forages dans les années 50, ces migrations saisonnières connurent un déclin rapide. Cette région se trouve donc soumise depuis à une exploitation pastorale permanente.

Un tel bouleversement du système pastoral n'a pas pu s'opérer sans altérer les différentes composantes des milieux naturels et humains. Ce sont ces différentes évolutions qu'une équipe multidisciplinaire s'est donnée comme objet d'étude avec cette vaste région comme champ expérimental. Ce présent rapport traite plus particulièrement de l'effet du pâturage et du piétinement du bétail autour des forages sur la dégradation des sols, c'est-à-dire sur l'encroûtement superficiel des sols, leur compaction, et leur sensibilité aux érosions hydriques et éoliennes. Il présente également quelques mesures susceptibles de remédier à ces problèmes.

LA REGION D'ETUDE

La région d'étude (figure 1) couvre 10.000 km² et supporte une population de 30.000 personnes, et un bétail bovin de 100.000 têtes (MEYER, 1980). Les 13 forages sont généralement situés à une distance de 25 km les uns des autres. L'alimentation en eau est assurée par de puissantes motopompes qui puisent à une profondeur de 200 m dans la plus grande nappe de l'Afrique de l'Ouest, celle du Maestrichtien.

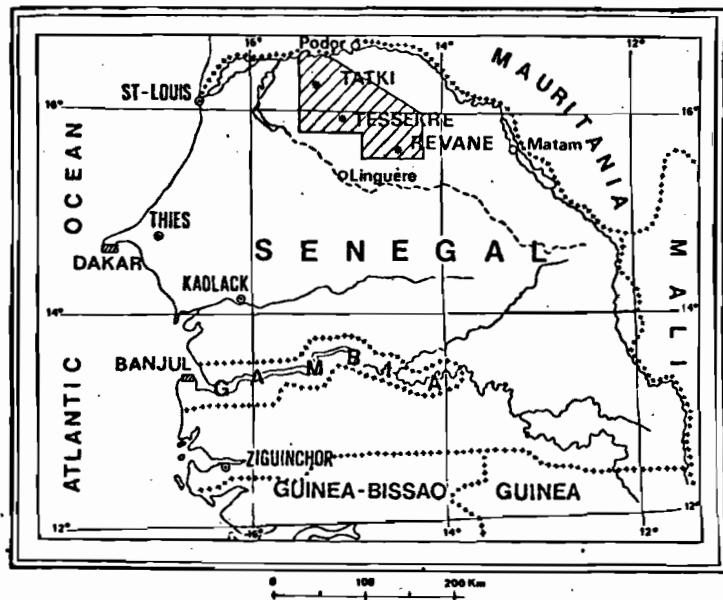


FIGURE 1 : Localisation générale de la région d'étude

Les pluies se concentrent entre les mois de juillet et septembre, le reste de l'année se caractérise par la chaleur et la sécheresse. Il faut néanmoins adopter une attitude très critique vis-à-vis des données climatiques moyennes tant la variabilité est grande dans ce type de région. A titre d'exemple, signalons que si les pluies enregistrées de 1920 à 1969 permettent d'établir une pluviométrie moyenne annuelle qui varie de 300 mm au NORD de la zone (PODOR) à 500 mm au SUD (LINGUERE et MATAM), ces moyennes accusent un déficit d'environ 40 % au cours des années 70 (de WISPELAERE, 1980 a) (figure 2).

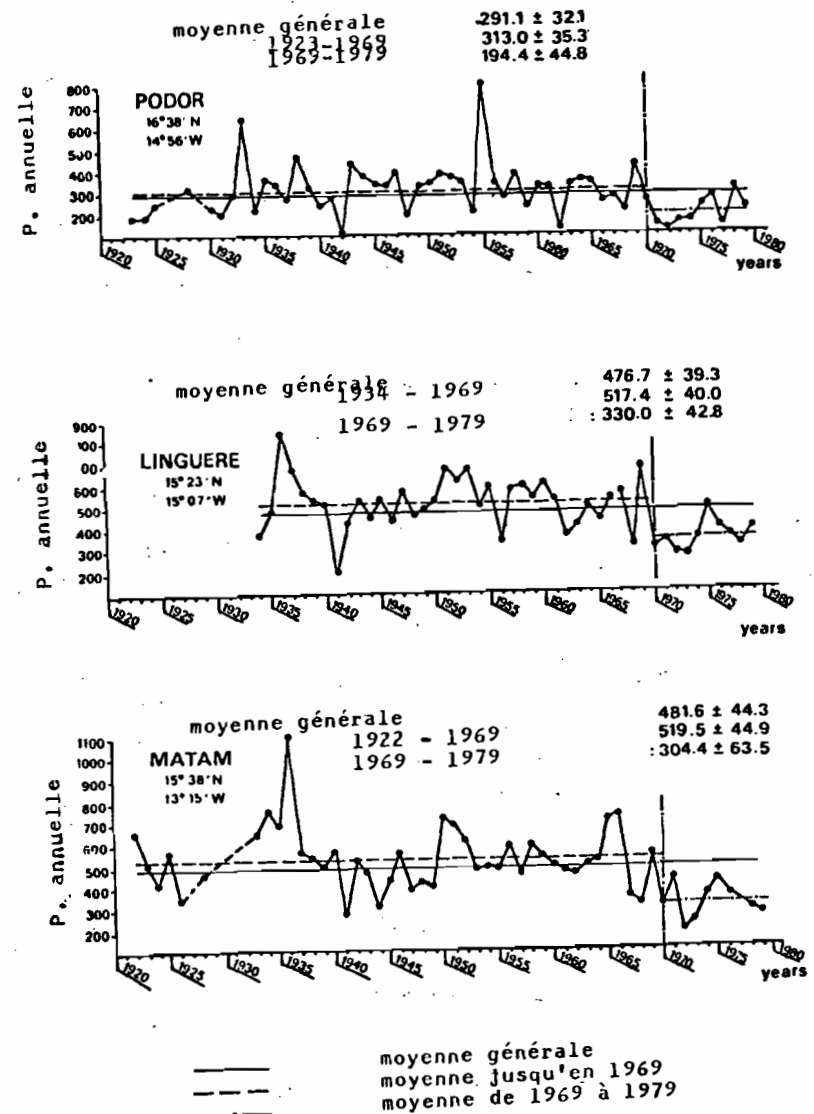


FIGURE 2 : Pluviométrie annuelle et sa variabilité, pour trois villes limitrophes de la région d'étude (d'après de WISPELAERE, 1980 a).

En 1981, la pluviométrie est redevenue proche de la " normale": 358 mm à TATKI, 348 mm à TESSEKRE et 433 mm à REVANE.

Il est possible de distinguer deux grandes unités naturelles au sein de la région d'étude:

- Le Ferlo Sableux: il s'agit de la partie Nord et Ouest du Ferlo, couverte de dunes fossiles de l'ère quaternaire, au relief peu accusé. Des sols ferrugineux profonds se sont développés sur ces anciens ergs. Les espèces caractéristiques de la strate herbacée sont *Schoenfeldia gracilis* et *Cenchrus biflorus*. La production fourragère varie de 400 à 900 kg de matières sèches/ha (BOUDET, 1980). Les ligneux sont représentés par des arbustes et des petits épineux (*Commiphora africana*, *Balanites aegyptiaca*), souvent isolés dans le paysage.
- Le Ferlo cuirassé: c'est la région, située au Sud-Est, dont le relief est nettement plus marqué. Une cuirasse en partie démantelée recouvre des grès tertiaires. Les sols ferrugineux sont gravillonnaires et peu profonds. La présence de nombreuses taches nues pelliculaires contribue à la très faible productivité du couvert herbacé discontinu (*Zornia glochidiata*): 100 kg de matières sèches/ha (BOUDET, 1980). Les ligneux se caractérisent par des peuplements monospécifiques de *Pterocarpus lucens*.

METHODOLOGIE

Trois forages ont été sélectionnés le long d'un axe Nord-Ouest Sud-Est qui correspond au gradient climatique (du plus sec au plus humide). Les deux premiers (TATKI et TESSEKRE) appartiennent au Ferlo Sableux, le troisième au Ferlo Cuirassé (REVANE). La texture des matériaux superficiels (prélevés dans les zones non perturbées) varie du "sable" à TESSEKRE, à sableux à TATKI et sablo-limoneux à REVANE (figure 3).

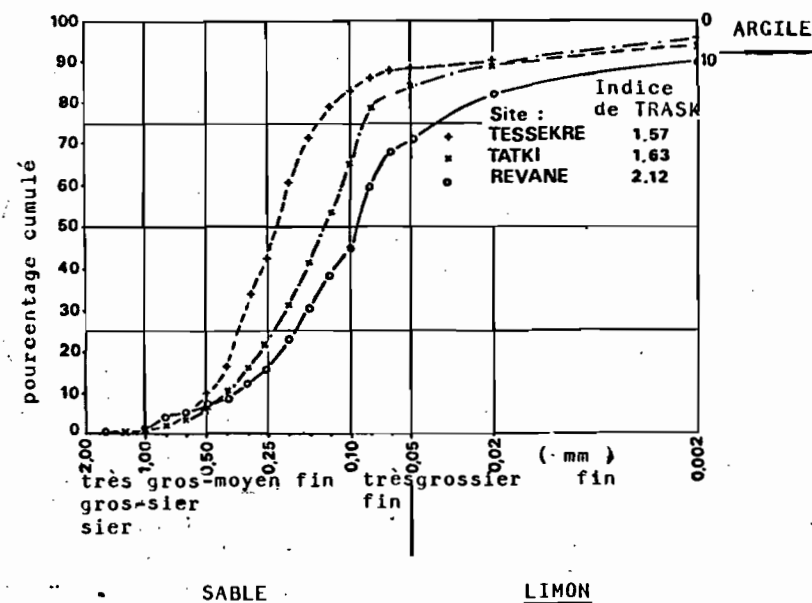


FIGURE 3 : Distribution granulométrique et indice de tri (TRASK) des matériaux superficiels (0 - 5 cm) des trois sites d'étude (échantillons prélevés dans les zones non perturbées par le piétinement du bétail).

Comme l'intensité du pâturage et du piétinement décroissent en même temps qu'augmente la distance au forage, il a été possible de délimiter plusieurs cercles concentriques centrés sur les points d'eau. Deux grandes zones peuvent en premier lieu être définies:

- . La zone perturbée qui s'étend des abords immédiats des abreuvoirs jusqu'à une distance qui varie selon les forages de 5 à 7 km. C'est l'auréole au sein de laquelle l'action du bétail est la plus perceptible.
- . La zone témoin, au-delà de cette limite, est peu exploitée par les troupeaux (peu ou pas de traces de piétinement, peu ou pas de bouses). Elle est utilisée, lors de cette étude, comme référence naturelle pour estimer l'évolution de la zone perturbée.

Deux grands types d'approches ont été suivis:

- . La description des organisations de surface, caractéristiques de processus (pellicules, micro-dunes, griffes d'érosion, etc...), étudiées à la fois dans le temps (avant et après une saison des pluies) et dans l'espace (en fonction de la distance aux forages).
- . La détermination quantitative de plusieurs paramètres pédologiques. La densité apparente de l'horizon directement sous-jacent au matériau bouillant superficiel a ainsi été systématiquement mesurée le long de rayons (trois répétitions) centrés sur les points d'abreuvement, en vue de relier l'éventuelle compaction du sol au piétinement du bétail.

De même, des échantillons de sol ont été prélevés afin de mettre en évidence d'éventuelles modifications du taux de matière organique et de la composition granulométrique.

R E S U L T A T S

CARACTERES DE LA SURFACE DES SOLS DANS LES ZONES TEMOINS

Bien que ce fait puisse surprendre, c'est dans les zones les plus éloignées des forages que les taches pelliculaires sont le plus abondantes. Cependant l'importance de ce phénomène varie considérablement d'un site à l'autre (tableau 1).

La plupart des taches nues et indurées d'une dizaine de mètres de diamètre qui peuvent être observées dans la région de TESSEKRE peuvent aisément être attribuées à la présence d'anciennes termitières. L'ouverture de longues tranchées qui recoupent les zones dépourvues de végétation et les micro-buttes sableuses qui les bordent, a révélé cependant d'autres origines possibles. Ainsi, il n'est pas rare d'observer dans le Ferlo Sableux l'existence de dômes calcaires qui apparaissent directement sous les surfaces pelliculaires. De même

à REVANE, dans le Ferlo Cuirassé, les taches nues circulaires semblent se développer préférentiellement là où l'horizon gravillonnaire est le plus proche de la surface. Ainsi l'hétérogénéité de surface peut être induite par les variations latérales du matériau pédologique sous-jacent.

TABLEAU 1: Surface et diamètre moyen des taches nues pelliculaires des zones témoins. Comparaison des trois sites.

	SITE		
	TESSEKRE	TATKI	REVANE
Distance au forage (km)	7	5	8
Pourcentage de surfaces nues et pelliculaires	8	49	52
Diamètre moyen (m)	2	11	12

L'examen minutieux des micro-horizons qui constituent les micro-buttes sableuses, ainsi que les analyses granulométriques, démontrent que leurs processus de formation ne s'apparente pas à celui de buttes-témoins, épargnées par l'érosion. Ces micro-buttes résultent au contraire d'apports éoliens successifs. Lorsque la pluviométrie redevient à peu près normale comme en 1981, le ruissellement qui apparaît sur les versants de ces micro-buttes entraîne des sables fins qui recouvrent alors les zones nues pelliculaires. Il en résulte une diminution importante des surfaces occupées par ces pellicules.

EVOLUTION DE LA SURFACE DU SOL DANS LES ZONES PERTURBÉES

Ferlo Sableux: (figure 4)

Lorsque l'on approche des forages, les sentes de bétail deviennent à la fois plus marquées et plus nombreuses. L'ensemble de la surface se trouve peu à peu couverte d'un horizon sableux et boulang, sous l'effet du piétinement du bétail qui détruit les micro-buttes et en épand les matériaux sur les surfaces pelliculaires. Dans une couronne comprise entre 0,5 km et 2,0 km à partir des forages, l'action du vent est soulignée par l'apparition de nombreuses micro-dunes en surface (ripples). L'analyse granulométrique confirme l'intensité de la déflation dans cette zone (figure 5).

La densité apparente de l'horizon directement sous-jacent au couvert sableux boulang augmente de manière **significative lorsque la distance au point d'abreuvement diminue** (figure 6).

Les taux de matière organique, déjà très faibles dans la zone témoin, diminuent nettement dans la couronne exploitée par le bétail, avant d'atteindre de très fortes valeurs à proximité des abreuvoirs (figure 7). Ces valeurs traduisent l'effet de récolte (pâturage) dans la zone exploitée et de restitutions préférentielles dans la zone de pacage (points d'eau) sous forme de déjections.

De nombreux clichés pris avant et après la saison des pluies démontrent combien l'aspect désolé des abords des forages peut être trompeur quant à leur productivité. Un couvert herbacé continu couvre en effet en fin de saison des pluies ce

qui en fin de saison sèche ne ressemble qu'à un champ de sable stérile.

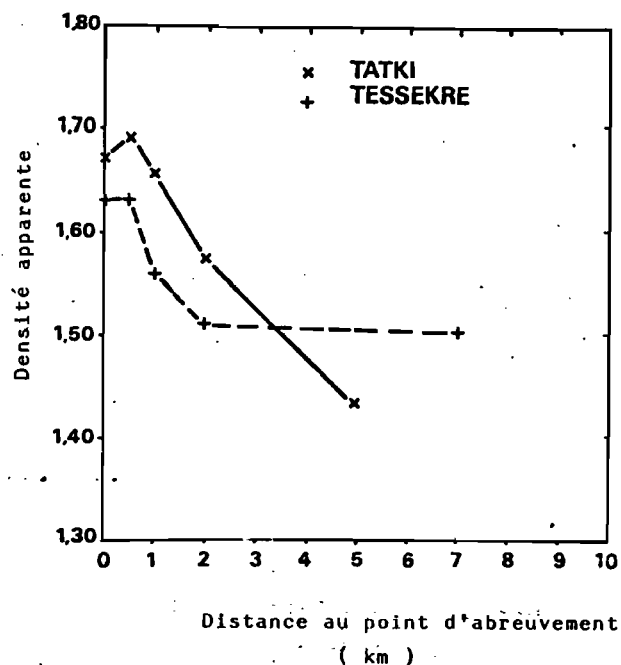


FIGURE 6 : Effet de l'intensité du piétinement (évaluée en fonction de la distance au point d'abreuvement) sur la densité apparente de l'horizon situé directement sous le matériau sableux piétiné.

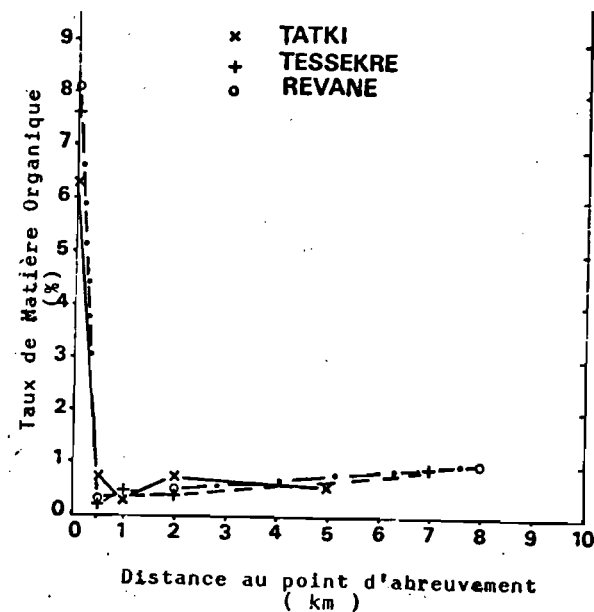


FIGURE 7 : Evolution du taux de matière organique en fonction de la distance aux trois forages étudiés.

Ferlo cuirassé

Contrairement à la région précédente, le Ferlo cuirassé est soumis à une érosion hydrique très sérieuse. De plus, les peuplements végétaux ont considérablement souffert de la sécheresse et du surpâturage, sans laisser beaucoup d'espoir quant à leur possibilité de régénération. (tableau 2).

En approchant du forage de REVANE, les marques de dégradation se font de plus en plus nombreuses. Le ruissellement qui apparaît sur les zones nues provoque une érosion en nappe perceptible à de nombreux indices (micro-falaises, micro-cheminée de fées, etc...). Une étape plus grave est

atteinte lorsque ces eaux de ruissellement se concentrent et provoquent l'installation d'une érosion linéaire d'autant plus sérieuse qu'elle est favorisée par les sentes orientées dans le sens de la pente. Le microrelief se trouve considérablement accentué: d'une part les griffes deviennent rigoles qui mettent à nu l'horizon gravillonnaire et même par endroit la cuirasse (une ravine a vu sa profondeur augmenter de 50 cm au cours d'une seule saison des pluies), d'autre part le vent entraîne une accumulation de sable de plus en plus marquée sur les micro-buttes encore couvertes de végétation. Cette action combinée de l'eau et du vent entraîne une dégradation qui semble irrémédiable.

TABLEAU 2 : Nombre d'arbres par hectare, en fonction de leur taille, et de la distance au forage de REVANE.

Distance au forage	CLASSES DE HAUTEUR (m)				TOTAL
	0,0-0,5	0,5-1,5	1,5-2,5	2,5 et +	
km 8,0	128	127	160	140	555
km 6,0	133	67	67	73	340
km 1,5	83	53	7	7	150

DISCUSSION

EVOLUTION DU COUVERT VEGETAL

Plusieurs auteurs ont effectué des observations étonnantes concernant l'évolution de la végétation dans le Ferlo. Sans que l'effet du bétail puisse être mis en cause, puisque les mesures ont été réalisées dans une réserve clôturée située à 25 km du forage le plus proche (TATKI), la population ligneuse a diminué de moitié en seulement cinquans (POUPON, 1980). De telles observations vont à l'encontre de ce qui est souvent mentionné (DELWAULLE, 1973. ADU, 1982), i.e. une régénération spontanée et rapide de la végétation dans les zones mises en défens.

Plus surprenante encore est l'augmentation de productivité et l'amélioration de l'apâtabilité qui ont été mesurées à proximité des forages du Ferlo Sableux (VALENZA, 1970. BOUDET, 1972. BILLE, 1976). Deux causes peuvent être invoquées:

- Les caractéristiques du matériau superficiel, à l'intérieur de la zone perturbée par le bétail, en font un véritable mulch sableux qui favorise l'infiltration tout en limitant l'évaporation (les stocks d'eau, mesurés sur une profondeur de deux mètres correspondent, en fin de saison sèche, à plus de la moitié de la pluviométrie de l'année précédente). Ce matériau qui, en outre, est enrichi en azote (rapport de première mission) et en matière organique, constitue un meilleur lit de semence que les organisations superfici-

cielles des zones non perturbées.

. Les troupeaux continuent à être conduits pendant la saison des pluies vers les mares naturelles. Ce délai semble suffisant pour permettre à la végétation des abords des forages d'atteindre le stade de production de graines (BARRAL, 1982).

La comparaison de photographies aériennes prises en 1954 et en 1978, ainsi que l'analyse d'images de satellite, conduit, par contre, dans le Ferlo Sableux, à relier, sans contester les marques de dégradation à la présence de campements (de WISPELAERE, 1980 b). De nombreux indices révèlent qu'aux effets de la sécheresse se sont ajoutés les conséquences de l'ébranchage. De plus, la population bovine (1.500 têtes) dépasse la charge maximale des parcours (1.200 têtes) (BOUDET, 1980. MEYER, 1980). Ainsi, contrairement au Ferlo Sableux, le Ferlo Cuirassé subit un surpâturage réel.

COMPACTION DES SOLS

Comme l'ont déjà mentionné THOMPSON (1968), BECKMAN et SMITH (1973), et LAGOCKI (1978), le piétinement du bétail provoque une compaction des sols. Un tel effet a pu être mis en évidence lors de cette étude sous la forme d'une nette augmentation de la densité apparente (figure 6) à proximité des forages du Ferlo Sableux. Cette diminution de la porosité ne semble pas cependant préjudiciable à la production végétale. Il est très pro-

bable au contraire qu'elle entraîne un ralentissement de l'infiltration, permettant ainsi une meilleure imbibition du lit de semence. Ce tassement serait donc lui aussi à relier à la forte productivité des abords des points d'abreuvement.

ENCROûTEMENT SUPERFICIEL DES SOLS

Contrairement aux observations de MOTT, BRIDGE et ARNDT (1979) en Australie, et de BOUDET (1977), BREMAN & al. (1980) au MALI, l'encroûtement superficiel des sols ne peut pas être attribué, dans le Ferlo Sableux, aux effets du pâturage et du piétinement. C'est en effet dans les zones les plus éloignées des forages, et même dans une réserve clôturée depuis 1969 (FETE OLE) que les organisations pelliculaires superficielles se développent le plus. Elles doivent principalement être attribuées à des facteurs naturels. Citons en premier lieu la granulométrie du matériau superficiel: en rapprochant le tableau 1 de la figure 3, il apparaît que les textures les plus grossières sont les moins favorables à l'apparition des taches nues pelliculaires. L'étude d'une séquence en limite de dune et de dépression interdunaire, située en zone non perturbée dans la région de TATKI, a largement confirmé la relation entre la nature du matériau et sa susceptibilité à l'encroûtement superficiel.

Les différentes observations tendent à montrer que les mécanismes de formation de ces organisations pelliculaires

s'inscrivent dans un cycle qui peut se schématiser comme suit (figure 8).:

- Lors des périodes de déficit pluviométrique prolongé (comme la décennie 70 par exemple), la résistance à la sécheresse des plantes est tributaire des stocks hydriques des différents horizons . Les plantes qui se développent sur des sols à faibles réserves sont les premières à souffrir de la sécheresse, et à disparaître. Tel peut être le cas des graminées qui se trouvent à l'aplomb de dômes calcaires, ou d'horizons fortement gravillonnaires peu profonds. Une fois nu, ces sols, très pauvres en matières organiques sont sujets à l'encroûtement superficiel. Les organisations pelliculaires se forment en effet même pour de faibles quantités de pluie (VALENTIN 1981). La ségrégation verticale entre plasma (pellicule) et squelette, plus ou moins lâche au-dessus, favorise une ségrégation latérale: alors que les particules fines constituent des pellicules cohérentes, les sables fins sont aisément détachés et transportés sur de courtes distances par le vent, puis piégés par les graminées qui subsistent. C'est ainsi que se développent, au-dessus des points où le stock hydrique est le plus élevé, les micro-buttes sableuses. Ce processus s'accélère puisque les graines qui se déposent sur les pellicules sont elles-mêmes entraînées par le vent jusqu'aux micro-buttes, où l'infiltration est elle-même mieux assurée (couvert végétal, texture sableuse). Ainsi les processus qui mènent d'un couvert continu à une hétérogénéité de surface (zones

nues battues et micro-buttes sableuses) semblent combiner des facteurs édaphique (hétérogénéité du sol), climatique (sécheresse prolongée) et végétal (absence ou présence de couvert).

- Pendant les périodes où la pluviométrie est voisine ou supérieure à la moyenne, les micro-buttes, peu couvertes lors des premières averses, subissent une érosion hydrique qui provoque l'apport de sédiments sableux sur les zones nues. Des repères au sol, matérialisés par des clous, ont permis de mettre en évidence de tels phénomènes au cours d'une saison des pluies à pluviométrie "normale" (1981). Ces épandages sableux piègent suffisamment de graines pour favoriser une recolonisation en flots, des surfaces nues. Ce mécanisme, déjà décrit par LEPRUN (1979) au Mali, permettrait, à condition de se répéter pendant un nombre suffisant d'années humides, d'atténuer peu à peu l'hétérogénéité superficielle et la discontinuité du couvert.

L'existence d'un tel cycle, cohérent avec l'ensemble de nos observations, permettrait également d'expliquer pourquoi ces taches nues n'ont pas été signalées par les pédologues qui ont étudiés le Ferlo avant la grande sécheresse des années 70 (MAIGNIEN, LEPRUN, communications orales).

couvert continu

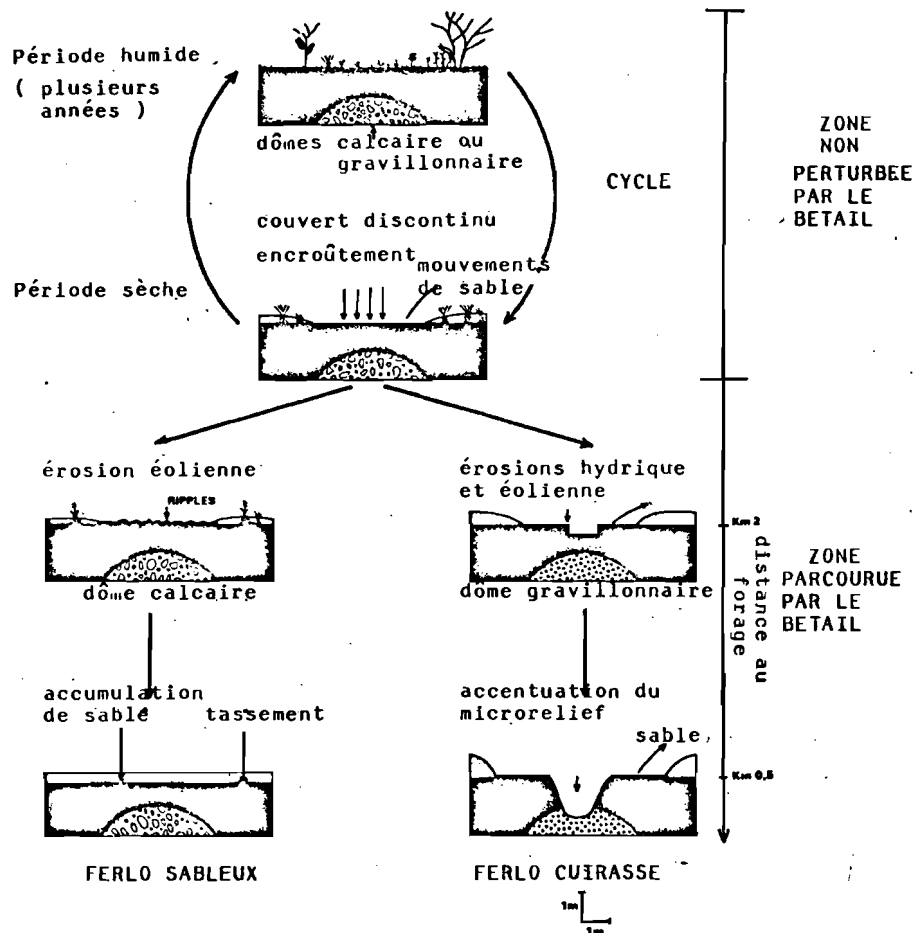


FIGURE 8 : Evolution des caractères de surface :

- dans le temps (cycle dans les zones non perturbées),
- dans l'espace, en fonction de la distance au forage. Comparaison des Ferlo Sableux et Cuirassé.

EROSION EOLIENNE

Il est difficile de déceler les effets morphologiques de l'érosion éolienne, surtout lorsque la déflation est encore limitée. L'analyse granulométrique est alors un outil intéressant. La figure 5 illustre la réaction de trois grandes classes granulométriques à l'action du piétinement et du vent. Comme l'ont déjà signalé de nombreux auteurs (AUBERT & MAIGNIEN, 1948. DELWAULLE, 1973. BOUGERE, 1979), le piétinement du bétail favorise la déflation en zone sahélienne. Celle-ci est surtout marquée pour les particules dont le diamètre est inférieur à 50μ . A cette exportation des éléments fins, correspond une accumulation relative des sables dont le diamètre est supérieur à 250μ . Cet ensablement est particulièrement sensible dans la couronne comprise entre les km 1 et km 2 à partir des forages, zone où les véhicules ont quelque difficulté à circuler. C'est également dans cette couronne que l'érosion des sables fins et très fins est la plus marquée (ripples - figures 4 et 5). Cette zone est à la fois celle où convergent toutes les sentes de bétail et où les taux de matière organique sont les plus faibles (figure 7). Il est à noter par contre que cette érosion éolienne des sables fins et très fins est limitée, voire nulle, aux abords immédiats des forages. Ce résultat confirme le rôle protecteur assuré par la fumure animale quant à l'érosion éolienne des sols à texture légère (CHANDRA & DE, 1982).

EROSION HYDRIQUE

L'érosion hydrique n'est réellement sensible que dans le Ferlo Cuirassé où elle peut être attribuée à une série de facteurs:

- . Les données du milieu: texture facilement érodible, sols peu profonds à faible infiltrabilité, pentes longues et plus marquées que dans le Ferlo Sableux, végétation chétive et très discontinue.
- . Sécheresse: le déficit hydrique entraîne une réduction du couvert végétal qui n'assure plus ainsi une protection suffisante du sol. Les organisations pelliculaires dont la formation est ainsi favorisée, limitent à leur tour l'infiltration, ce qui accélère la dégradation du couvert.
- . Exploitation pastorale: le surpâturage accentue la dénudation du sol. Le piétinement, le long de sentes orientées dans le sens de la pente, favorise, de plus, la concentration du ruissellement et donc l'apparition de griffes, rigoles, et ravineaux.

C'est ainsi qu'en moins de trois décennies, certaines zones du Ferlo Cuirassé ont subi une dégradation très poussée.

C O N C L U S I O N

Il n'est pas contestable que le piétinement et le (sur)pâturage contribuent à la dégradation des

sols sahéliens. Il est néanmoins nécessaire de nuancer cette affirmation en fonction des types de milieux:

- . Dans le Ferlo Sableux, la dégradation intervient surtout sous la forme du tassement et de l'érosion éolienne provoqués par le piétinement. Il faut noter cependant que ces effets n'entraînent pas, au contraire, de conséquences fâcheuses quant à la production fourragère.
- . Dans le Ferlo Cuirassé, la conjonction des effets de la sécheresse et du surpâturage a provoqué par contre une érosion hydrique très sévère, mais limitée aux abords de certains forages.

Il est également important de retenir de cette étude que certaines formes de dégradation, comme l'apparition de surfaces nues couvertes d'organisations pelliculaires, ne résultent pas systématiquement des effets négatifs du piétinement et du pâturage. D'autres causes, comme la sécheresse et l'hétérogénéité des sols-pères, doivent être invoquées, indépendamment de toute intervention du bétail.

Enfin, il n'est pas douteux que ce sont les Peuhls du Ferlo Sableux qui, en maintenant un nomadisme limité vers les mares naturelles pendant la saison des pluies, assurent eux-mêmes une certaine conservation de l'environnement.

R E C O M M A N D A T I O N S

Assez fréquemment, des chercheurs proposent un certain nombre de mesures susceptibles de combattre la dégradation des sols de la région sahélienne (GUILLOTEAU, 1956. ADU, 1982). Certaines d'entre elles ne seront jamais suffisamment répétées; la liste qui en est dressée ici ne se veut pas exhaustive:

1. Evaluer la productivité des parcours avant tout projet d'augmentation de la charge en bétail.
Les conséquences sur l'environnement doivent être prises en compte lors de l'élaboration des projets de développement.
2. Associer aux projets les communautés pastorales.
Contrairement à un préjugé assez répandu, les populations nomades ne sont pas hostiles au progrès dans la mesure où il est bénéfique pour les troupeaux (BARRAL , 1982).
3. Planter des ceintures vertes autour des forages, particulièrement dans la couronne comprise entre les kilomètres 1 et 2, à partir des points d'abreuvement, c'est à dire dans la zone la plus sensible à l'érosion éolienne. Différentes expériences menées en zone sahélienne ont montré que les travaux de reforestation peuvent être menés par les populations elles-mêmes qui y voient une réponse à la demande croissante en bois de chauffe et de construction.

4. Effectuer, si nécessaire, des travaux de restauration des sols, avec l'aide d'un personnel qualifié. Dans ce domaine, la bonne volonté ne suffit pas (des travaux plus ou moins bénévoles, comme un sous-solage de cuirasse en vue d'une plantation, ont par exemple favorisé l'apparition de griffes d'érosion). Une meilleure vulgarisation permettrait de diffuser plus largement les principes fondamentaux de conservation des sols.

19. POUPON, H..1980.

Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au Nord du Sénégal. Tr. et Doc. ORSTOM, n° 115, 351 p., 91 tabl., 46 fig., 218 réf.

20. STEBBING, E.P.: 1937..

The forests of West Africa and the Sahara : a study of modern conditions. Chambers. London. Cited by ADU (1982).

21. THOMPSON, J.R..1968.

Effect of grazing on infiltration in a Western watershed. J. Soil and Water Cons., 23 : 63-65, 1 tabl., 4 fig., 5 ref..

22. VALENTIN, C.. 1981.

Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de régions subdésertiques. Dynamique de formation et conséquences sur l'économie de l'eau. Thèse 3ème cycle. Université de Paris VII. 229 p., 22 tabl., 43 fig., 67 plates, 473 ref.

23. VALENZA, J.. 1970.

Etude dynamique de différents types de pâturages naturels en République du Sénégal. *in* : Proc. of the 11th Intern. Congr. Grasslands, Surfers Paradise, Australia, p. 218.

24. WISPELAÈRE de, G. . 1980a.

Les photographies aériennes témoins de la dégradation du couvert ligneux dans un écosystème sahélien sénégalais. Influence de la proximité d'un forage. *in* : L'arbre en Afrique tropicale: la fonction et le signe. Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., 17 (3-4) : 155-166, 2 tabl., 4 fig., 8 plates, 12 ref.

25. WISPELAÈRE de, G.. 1980b.

Systèmes de production d'élevage au Sénégal : Etude et cartographie de l'évolution de la végétation par télédétection. Rapport de première année. I.E.M.V.T. Maisons-Alfort. 162 p., 23 fig., 19 ref.

26. ZONNEVELD, I.S.. 1980.

Some consequences of the mutual relationship between climate and vegetation in the Sahel and Sudan. I.T.C. Journal, 1980-2 : 255-296, 13 fig., 32 ref..

P L A N C H E S P H O T O G R A P H I Q U E S

1. LE FERLO SABLEUX

Photographie N°1:

TESSEKRE - km 0,5 . Cet endroit qui correspond très probablement à l'emplacement d'un ancien champ est particulièrement dénudé. Les arbustes ont servi à construire des clôtures (C). La densité de bouses (B) est insuffisante pour protéger le sol d'une érosion éolienne importante (micro-dunes ou ripples -A)

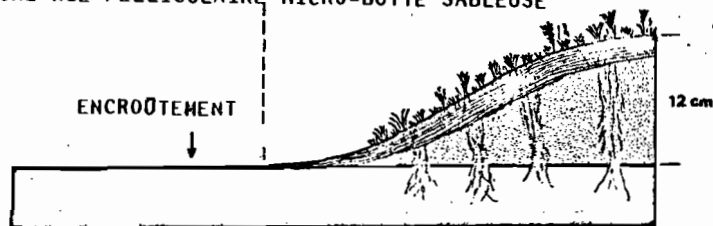
Photographies Nos 2 & 3:

TATKI - km 1,0 . En fin de saison sèche (N°2), la surface est uniformément couverte d'un horizon sableux boulant. On remarque cependant une sente (D), et une tache pelliculaire presque totalement recouverte (E). Après la saison des pluies(3), le couvert graminéen est total. La tache nue a été recolonisée (E'). La sente (D') n'a pas varié de place.

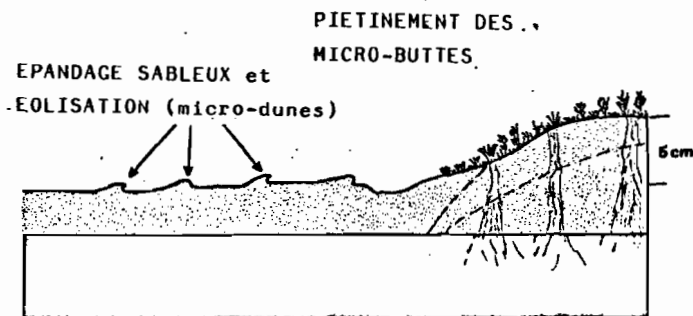
Photographies Nos 4 & 5:

TATKI - km 5,0 . Champ clôturé cultivé en mil. La surface présente en fin de saison sèche (4) une hétérogénéité importante: zone nue et pelliculaire (F), bordée de micro-buttes sableuses éolisées (G). Après la saison des pluies (5), une partie importante du champ a été recolonisé par la végétation naturelle qui s'établit préférentiellement sur les micro-buttes (H') mais aussi, pour une plus faible part, sur les anciennes surfaces pelliculaires qui ont été recouvertes de sable(5). Les surfaces cultivées couvrent de très faibles surfaces. Très peu d'arbres y sont laissés (fabrication de clôtures). Il n'est pas rare d'observer sur ces vastes surfaces nues des marques d'érosion hydrique, normalement peu fréquentes dans le Ferlo Sableux.

ZONE NUE PELLICULAIRE MICRO-BUTTE SABLEUSE



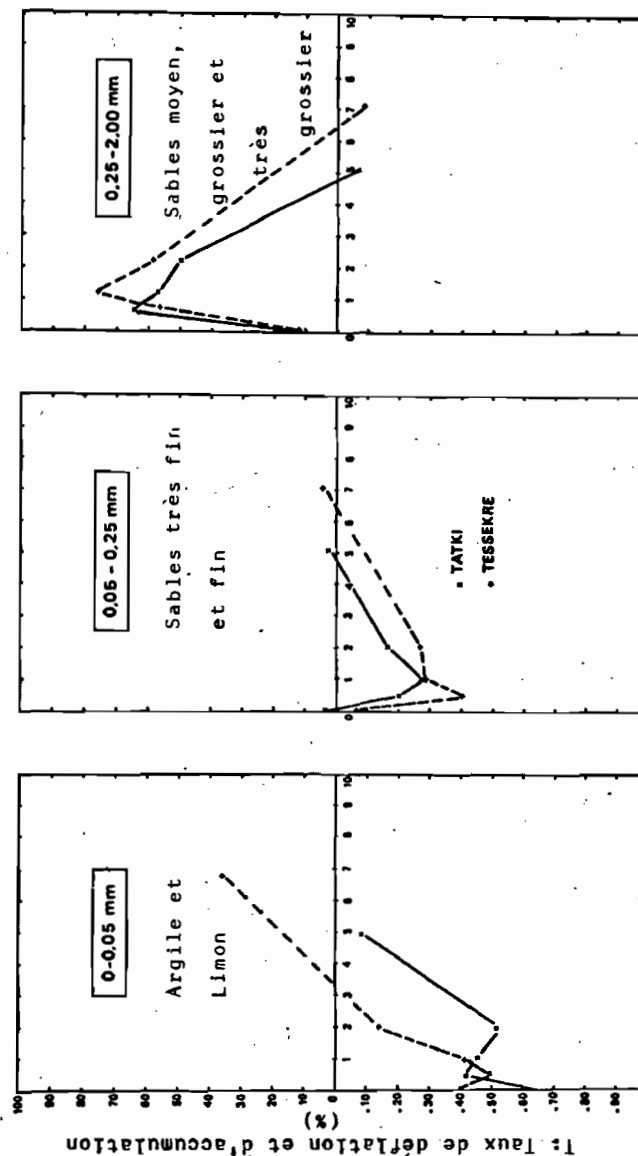
km 10 : ZONE NON PERTURBEE



km 2 : ZONE PIETINEE ET PATUREE



FIGURE 4 : Evolution de la surface du sol en fonction de la distance au forage (Ferlo Sableux).



Distance au point d'abreuvement (km)

FIGURE 5 : Effet du piétinement (évalué par la distance au forage), sur le taux T de déflation ou d'accumulation des différentes fractions granulométriques.
 $T (\%) = \frac{Ca}{Cb}$, avec Ca: pourcentage de la fraction F contenue dans le matériau superficiel (micro-butte ou horizon bouillant),
 et Cb: pourcentage de la même fraction F contenue dans l'horizon directement sous-jacent.

150 indique une déflation



2. LE FERLO CUIRASSE

Photographies Nos 6 et 7

REVANE - km 1,5 . La surface est composée de zones érodées où affleure l'horizon gravillonnaire (K), et de micro-buttes sableuses (I) constituées d'apports éoliens qui subissent après leur dépôt une érosion hydrique (J).

En coupe, il est aisé d'observer les différents dépôts éoliens (7). Après dépôt sur la micro-butte la surface des sables s'organise en pellicule sous l'effet des pluies avant d'être couverte par un nouvel apport éolien en saison sèche. L'ensemble est recoupé par l'érosion hydrique le long des micro-versants (R). La discontinuité entre les sables éoliens et le matériau sous-jacent est très nette (O). L'horizon gravillonnaire apparaît plus profondément sous la micro-butte (P) que sous la surface nue (Q). Cette hétérogénéité pédologique est à rapprocher de l'hétérogénéité superficielle (figure 8). Une érosion linéaire apparaît dans les zones nues (S), elle entaille l'horizon gravillonnaire (Q).

Evolution des surfaces en fonction du temps et de la distance au forage:(REVANE)

Kilomètre 8

Photographie N°8:

Comme dans les zones non perturbées du Ferlo Sableux, les surfaces les plus éloignées du forage se répartissent entre les taches nues pelliculaires (A), et micro-buttes sableuses, enherbées, et ici très peu marquées (D). Comme souvent, cette tache nue est associée à une termitière (B), et partiellement couverte de placages de récolte de termites (C).

Kilomètre 6

Photographie N°9:

En approchant du forage, le nombre d'arbres morts augmente (tableau 2). Sur les surfaces nues apparaissent les marques de l'érosion en nappe, ici des micro-falaises (E). Une porosité vésiculaire importante se développe au sein des sédiments constitués de sable fin (F).

RECOMMANDATIONS

Assez fréquemment, des chercheurs proposent un certain nombre de mesures susceptibles de combattre la dégradation des sols de la région sahélienne (CUIL-LOTEAU, 1956. ADU, 1982). Certaines d'entre elles ne seront jamais suffisamment répétées; la liste qui en est dressée ici ne se veut pas exhaustive:

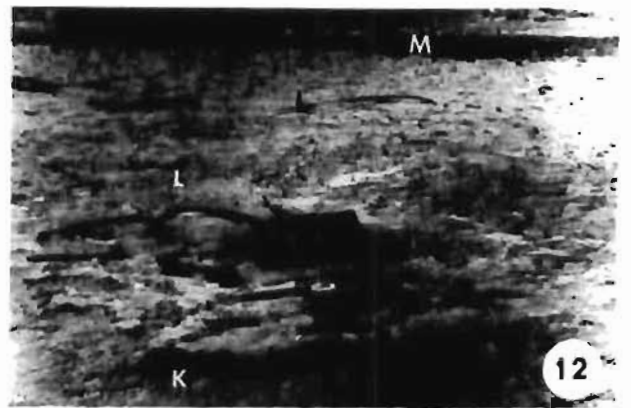
1. Evaluer la productivité des parcours avant tout projet d'augmentation de la charge en bétail. Les conséquences sur l'environnement doivent être prises en compte lors de l'élaboration des projets de développement.
2. Associer aux projets les communautés pastorales. Contrairement à un préjugé assez répandu, les populations nomades ne sont pas hostiles au progrès dans la mesure où il est bénéfique pour les troupeaux (BARRAL , 1982).
3. Planter des ceintures vertes autour des forages, particulièrement dans la couronne comprise entre les kilomètres 1 et 2, à partir des points d'abreuvement, c'est à dire dans la zone la plus sensible à l'érosion éolienne. Différentes expériences menées en zone sahélienne ont montré que les travaux de reforestation peuvent être menés par les populations elles-mêmes qui y voient une réponse à la demande croissante en bois de chauffe et de construction.

4. Effectuer, si nécessaire, des travaux de restauration des sols, avec l'aide d'un personnel qualifié. Dans ce domaine, la bonne volonté ne suffit pas (des travaux plus ou moins bénévoles, comme un sous-solage de cuirasse en vue d'une plantation, ont par exemple favorisé l'apparition de griffes d'érosion). Une meilleure vulgarisation permettrait de diffuser plus largement les principes fondamentaux de conservation des sols.

BIBLIOGRAPHIE

1. AUBERT, G. and MAIGNIEN, R.. 1948.
L'érosion éolienne dans le Nord du Sénégal et du Soudan français. Communication n° 103. 2ème sect. Groupe 1. Conf. Afric. des Sols. Goma : pp. 1309-1316, 6 tabl., 9 réf.
2. ADU, S.V.. 1982.
Desertification in West Africa. *in* : Desertification and Soils Policy. Proc. of the 12th Intern. Congress of Soil Science. New Delhi : pp 26-43, 5 fig., 31 ref.
3. BARRAL, H.. 1982.
Le Ferlo des forages. Gestion ancienne et actuelle de l'espace pastoral. DGRST/ORSTOM, report, 85 p., 10 maps, 20 réf.
4. BECKMANN, G.G. and SMITH, K.J.. 1973.
Micromorphological changes in surface soils following wetting, drying and trampling. *in* : Soil microscopy. Proc. of the 4th Intern. Working Meeting of Soil Microscopy. Kingston. pp. 832-845, 1 tabl., 4 fig., 12 ref.
5. BILLE, J.C.. 1977.
Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Trav. et Doc. ORSTOM, n° 65, 82 p., 29 fig., 54 réf.
6. BOUDET, G.. 1972.
Désertification de l'Afrique tropicale sèche. *Adansonia*, sér. 2, 12 (4) : 505-524, 3 tabl., 8 fig., 16 réf.
7. BOUDET, G.. 1977.
Désertification ou remontée biologique du Sahel. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 12 (4) : 293-300, 1 tabl., 5 fig., 6 réf.
8. BOUDET, G.. 1980.
Systèmes de production d'élevage au Sénégal : étude du couvert herbacé. 1ère campagne. I.E.M.V.T. - Maisons Alfort. 48 p., 19 tabl., 2 fig., 18 réf.
9. BOUGERE, J.. 1979.
L'état de dégradation des formations sableuses du Sahel voltaïque ou l'urgence d'une intervention. Tr. de l'Institut de Géographie de Reims, 39-40 : 91-101, 3 tabl., 4 fig., 5 plates, 4 réf.

10. BREMAN, H., CISSE, A.M., DJITEYE, M.A. and W.T.H. ELBERSE. 1980.
Pasture dynamics and forage availability in the Sahel. *Israel Journ. of Botany*, 28 : 227-251, 2 tabl., 6 fig., 25 ref.
11. CHANDRAS, S. and S.K. DE. 1982.
Effect of cattle manure on soil erosion by water. *Soil Sci.* 133 (4) : 228-231, 4 tabl., 13 ref.
12. GUILLOTEAU, J..1956.
Certain tendencies in soil, water and pasture conservation and in rural economy in Africa South of the Sahara. *African Soils*, 4 (1) : 30-64.
13. DELWAULLE, J.C..1973.
Désertification au Sud du Sahara. *Bois et Forêts des Tropiques*, 149 : 3-20, 12 plates, 8 ref.
14. LAGOCKI, H.F.R..1978.
Surface soil stability as defined and controlled by a drainage criterion.. *in* : *Modification of Soil Structure*. W.W. EMERSON, R.D. BONI and A.R. DEXTER, edit.. John WILEY & Sons. pp. 234-237, 2 tabl., 6 ref.
15. LEPRUN, J.C.. 1979.
Etude de l'évolution d'un système de production sahélien au Mali. Volet pédologie. Rapport de campagne 1979. ORSTOM, 20 p., 1 tabl., 7 fig., 18 plates, 9 réf.
16. MEYER, J.F.. 1980.
Etude des systèmes de production d'élevage au Sénégal. Volet zoo-économie. 1ère année. 28 p., 23 tabl., 1 fig.
17. MOTT, J., BRIDGE, B.J. and W. ARNDT..1979.
Soil seals in Tropical tall grass pastures of Northern Australia. *Austr. J. Soil Res.* 30 : 483-494, 6 tabl., 3 fig., 42 ref.
18. PATTERSON, J.R., COLLIER, F.S., DUNDAS, J., BRYNMOR, J., AUBREVILLE, A., MATHEY, J., and R. BACHELIER. 1937.
Rapport de mission forestière anglo-française Nigeria-Niger (décembre 1936 - février 1937). *in* : *Bois et Forêts des Tropiques* : 148 : 3-26, 1 map, 12 plates.



Kilomètre 1,5

Photographies Nos 10, 12, 13 et 14:

La quasi-totalité du couvert arboré a disparu (G), bien que certains ligneux qui paraissent morts en saison sèche reverdisent en saison des pluies (G'). Les griffes (H) sont souvent encombrées en saison sèche par des sédiments sableux soumis à l'éolisation. Une seule saison des pluies suffit à approfondi cette griffe en rigole (H'). Le maigre couvert herbacé (I') se localise en saison des pluies sur les micro-buttes sableuses (I (cf. également L et L'). Une ligne de clous matérialisait en fin de saison sèche le contact entre surface pelliculaire et micro-butte sableuse (K). Ce repère permet d'attester l'érosion hydrique subie par les micro-buttes: les clous émergent après les pluies de sédiments sableux. Ces épandages permettent une légère recolonisation des affleurements gravillonnaires (M et M').

Kilomètre 0,5

Photographies Nos 11 et 15:

Le ravineau s'est approfondi de 50 cm lors de la saison des pluies (J et J'). Le ruissellement très important qui se manifeste , ainsi sur les versants favorise la concentration des ligneux aux seuls points bas (photo. 6, L).