

REPUBLIQUE FRANCAISE

SECRETARIAT D'ETAT  
A LA RECHERCHE

DELEGATION GENERALE  
A LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

REPUBLIQUE DU SENEGAL

SECRETARIAT D'ETAT  
A LA RECHERCHE

DELEGATION GENERALE  
A LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

INSTITUT SENEGALAIS  
DE RECHERCHES AGRICOLES

Centre National  
de recherches forestières  
de Hann

Laboratoire National  
d'Elevage et de Recherches  
Vétérinaires de Hann

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

O.R.A.N.A.  
Dakar

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

"SYSTÈMES DE PRODUCTION D'ÉLEVAGE AU SÉNÉGAL"

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

EVOLUTION DE LA SURFACE DU SOL  
Piétinement, érosions hydrique et éolienne

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

(1ère campagne)

par

C. VALENTIN

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

Laboratoire de Pédologie  
O.R.S.T.O.M.

Office de la Recherche  
Scientifique et Technique  
Outre-Mer

O.R.S.T.O.M.

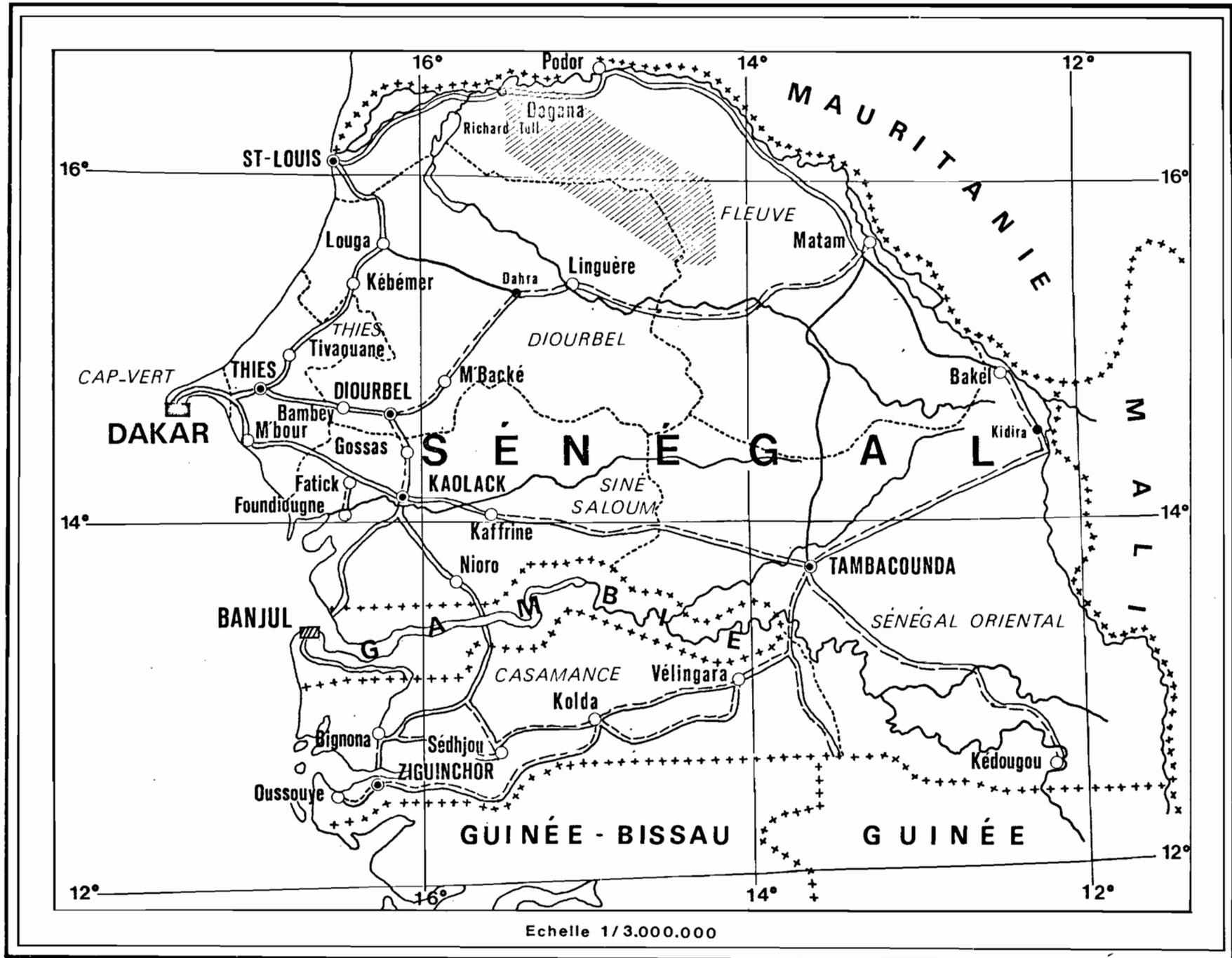
JUIN 1981

## SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION .....	1
1. PRESENTATION DU MILIEU .....	2
1.1. Situation .....	2
1.2. Géologie .....	2
1.3. Pédologie .....	2
1.4. Climat .....	3
1.5. Végétation .....	5
1.6. Activité pastorale .....	6
2. APPROCHE METHODOLOGIQUE .....	7
2.1. Choix des sites .....	7
2.2. Approche méthodologique .....	8
2.3. Approche quantifiée .....	9
3. RESUME DES PREMIERES OBSERVATIONS .....	10
3.1. TATKI .....	10
3.2. TESSEKRE .....	17
3.3. REVANE .....	21
DISCUSSION ET CONCLUSIONS PROVISOIRES .....	24
BIBLIOGRAPHIE .....	27

Fig : 1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

(d'après de Wispelaere. 1980)



## INTRODUCTION

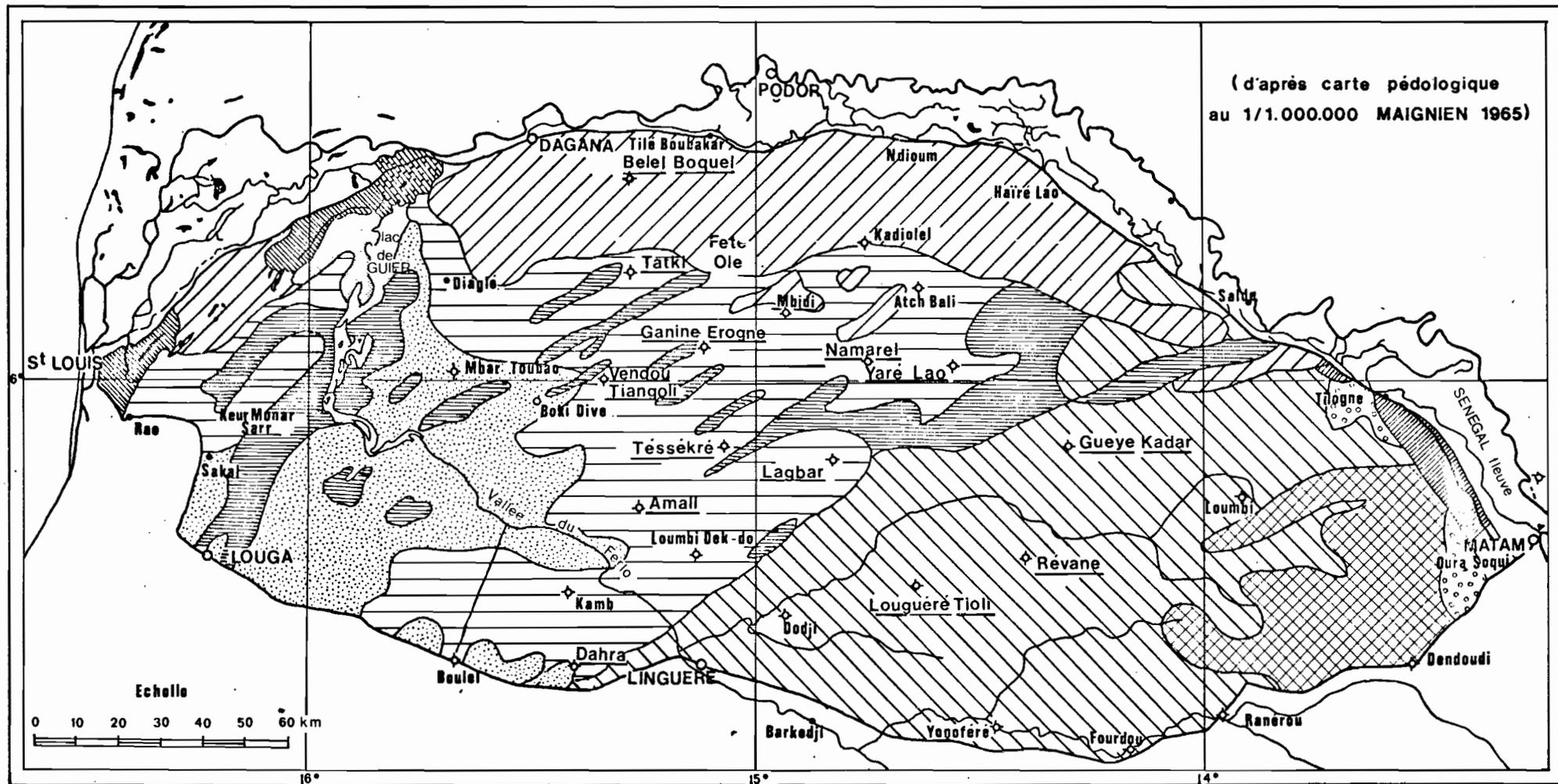
La région du Ferlo naguère considérée comme un "désert", car inhabitée neuf mois par an, a connu, depuis la mise en service de nombreux forages profonds de 1952 à 1957, une intensification de son exploitation pastorale.

Une équipe multidisciplinaire (A.C.C. - Lutte contre l'aridité en Afrique "Système de production d'élevage au Sénégal") s'est vue confiée comme tâche : "l'évaluation d'un système de production pastoral fortement aménagé et la détermination des axes d'évolution par comparaison avec les données antérieures aux aménagements et particulièrement pour le couvert herbacé et ligneux, la gestion des parcours, le cheptel et les fonctions économiques du troupeau, les populations et leur devenir".

Au sein de cette équipe, il est demandé au pédologue d'étudier plus particulièrement "le comportement des différents types de sols vis-à-vis du piétinement par le bétail et de l'érosion éolienne".

Ce présent document présente les principales observations réalisées lors d'une première mission effectuée avant la saison des pluies de 1981 ; une seconde est prévue au début de la prochaine saison sèche. Au cours de ce travail, une attention particulière a été portée à l'étude des caractéristiques de l'horizon superficiel qui souvent dans cette zone climatique conditionnent l'infiltrabilité (COLLINET et VALENTIN, 1979) et la productivité fourragère (BOUDET, 1980).

Fig 2: ESQUISSE PÉDOLOGIQUE DU NORD SÉNÉGAL, A L'EXCEPTION DES SOLS HYDROMORPHES



-  Cuirasse ferrugineuse sur grès argileux
-  Sol régolique sur grès argileux
-  Sol brun subaride intergrade hydromorphe sur sables colluviaux
-  Sol brun subaride modal sur marnes
-  Sol brun subaride intergrade, sol hydromorphe sur alluvions sableuses
-  Sol brun rouge intergrade, sol ferrugineux sur sables siliceux

-  Sol brun rouge faiblement évolué sur sables siliceux
-  Sol ferrugineux faiblement lessivé, lessivé en fer sur grès sablo-argileux souvent concrétionnés et cuirassés en profondeur
-  Sol ferrugineux, faiblement lessivé, lessivé en fer sur sables siliceux
-  Sol halomorphe

## I. PRESENTATION SOMMAIRE DU MILIEU

### 1.1. Situation

La zone d'étude appartient à la région du Ferlo située au Nord du Sénégal entre 15°30' et 16°30' de latitude Nord et entre 14° et 15°30' de longitude Ouest (cf. carte de situation).

### 1.2. Géologie (BRGM 1962, MICHEL 1969) LEPRUN 1971)

Il est possible de distinguer très grossièrement deux ensembles principaux : le "Ferlo sableux" et le "Ferlo cuirassé" :

#### a) le Ferlo sableux

Il couvre la plus grande partie de la zone d'étude et correspond à trois formations :

- l'erg ancien : il recouvre, comme l'ensemble de ces formations des grès argileux du Continental Terminal et occupe, soit seul, soit avec l'erg récent dont il forme le soubassement, la plus grande partie du Ferlo sableux. Il est très aplani ou faiblement ondulé et s'oriente NE-SW - 40 à 45°. Les dunes le constituant n'ont que 2 à 3 m de haut, de 500 à 800 m de large et plusieurs kilomètres de long. Dans les interdunes affleurent soit le substrat (souvent gravillonnaire) soit un matériau plus argileux que les dunes (VALENZA et DIALLO, 1972).
- l'erg récent : il s'agit des "dunes rouges" apparues lors d'une deuxième période sèche (16.000 à 18.000 ans Av. J.C.) à partir du remaniement de l'erg ancien (plus de 40.000 ans av. J.C.). Longues de plusieurs dizaines de kilomètres, larges de 2 à 3 km et hautes de 3 à 6 m elles s'orientent NE - SO - 45 à 53°. Les interdunes, plus argileuses ont également 2 à 3 km de large.
- l'erg très ancien : Cette formation située principalement en bordure du fleuve Sénégal et du lac de Guiers ne se rencontre que sur la zone d'étude. Formées entre 5.000 et 3.000 ans av. J.C., les dunes ont un relief plus marqué (denivellation supérieure à 10 m.).

#### b) le Ferlo cuirassé

Au Sud-Est de la région, les formations dunaires ne recouvrent pas la cuirasse ferrugineuse formée sur le Continental Terminal au début du quaternaire. Celle-ci, affleurante ou subaffleurante, épaisse d'un mètre, est le plus souvent d'origine secondaire (démantèlement puis cimentation des éléments constituant la première cuirasse).

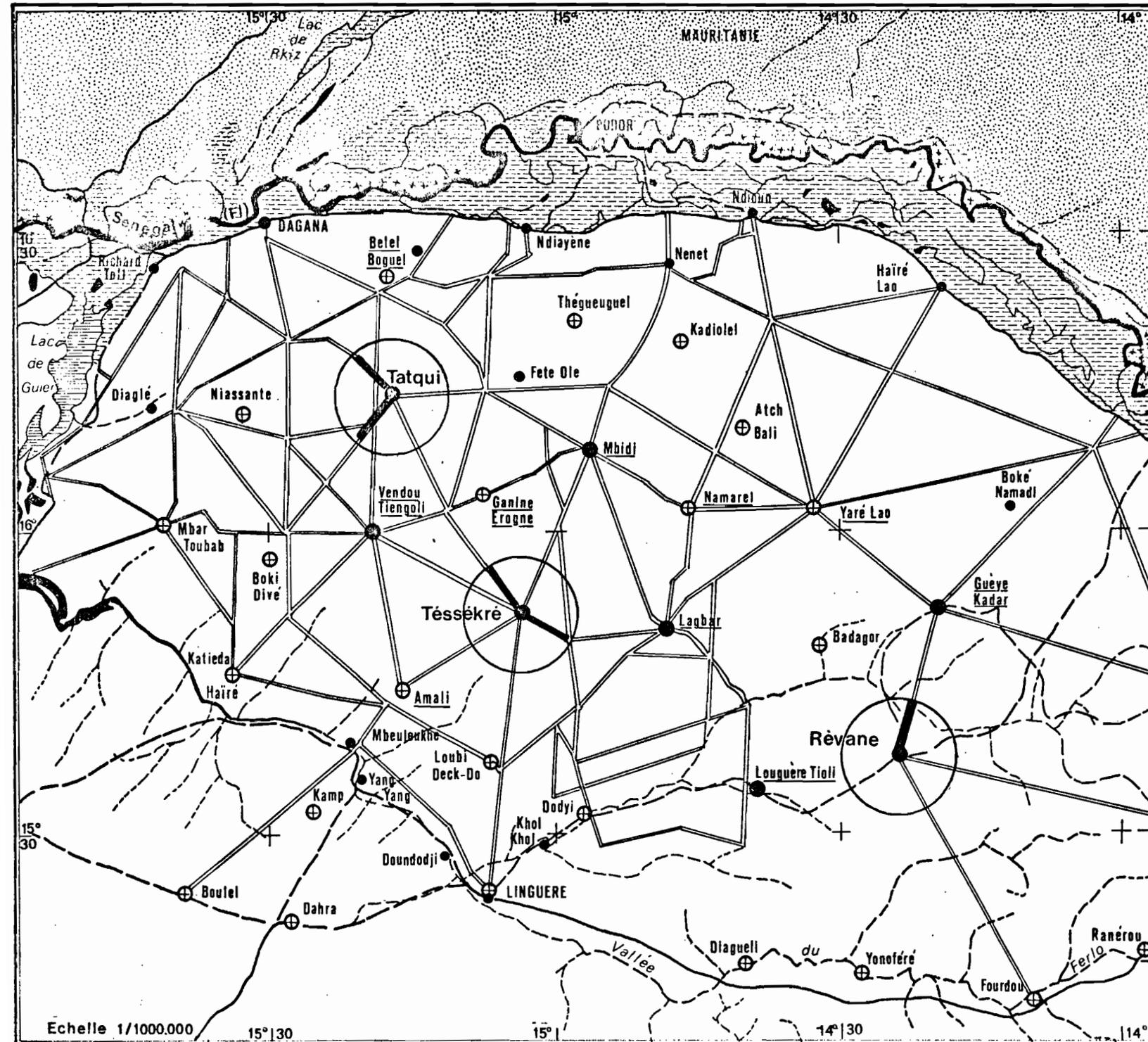
### 1.3. Pédologie

Contrairement à la région du Ferlo-Boundou située au Sud-Est de cette zone, pour laquelle il existe une carte au 1/200.000 (FELLER et MERCKY, 1975), le seul document synthétique a été établi à 1/1.000.000 (MAGNIEN, 1965) (fig. N°2).

Fig. : 3

## LOCALISATION DES FORAGES

- Amali : Forage concerné par le programme L.A.T.
- : Pare-feux
- : Rayon sélectionné
- : Zone d'étude pédologique (rayon 10 km)
- : Forage visité au cours de la première mission



Echelle 1/1000.000

La région assure une transition entre le domaine ferrugineux au Sud (Sahel) et le domaine isohumique au Nord (zone subaride) d'où la présence de nombreux intergrades entre ces deux classes de sols.

Trois principaux types de sols appartiennent à cette région :

- au Nord-Ouest

- . en position dunaire : le sol brun rouge intergrade sol ferrugineux sur sables silicieux : profondeur 1 m, faible différenciation en horizons de type A B C ;
- . en position interdunaire : le sol brun subaride intergrade hydromorphe, sur sables colluviaux : faible profondeur, horizons A C ;

- au Sud-Est : le sol ferrugineux faiblement lessivé, lessivé en fer sur grès, sablo-argileux souvent concrétionné et cuirassé en profondeur.

#### 1.4. Climat

Le climat se caractérise essentiellement par l'existence d'une longue saison sèche pouvant durer de 8 à 9 mois, en passant du Sud au Nord et d'une saison des pluies de 3 à 4 mois, dont le régime est aléatoire.

##### a) Pluviométrie

Comme le soulignent CORNET et POUPON (1978), il est préférable pour ces régions à très forte variabilité interannuelle d'utiliser les médianes de pluviométries annuelles plutôt que leurs moyennes. Le décalage entre les isohyètes des moyennes et des médianes (moins de 300 mm au Nord, 500 mm au Sud) est ainsi plus marqué dans les zones les plus sèches.

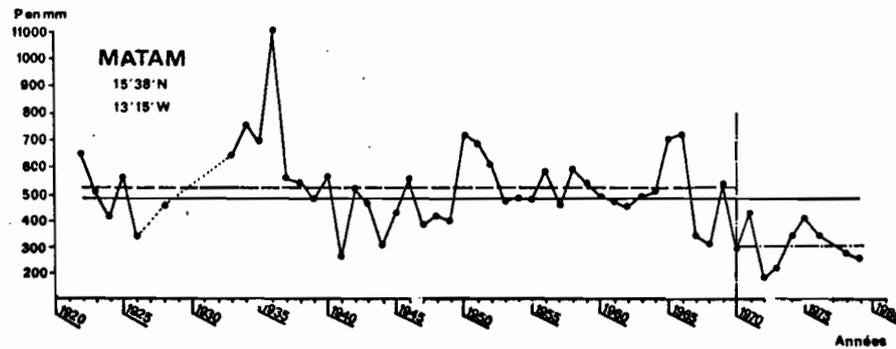
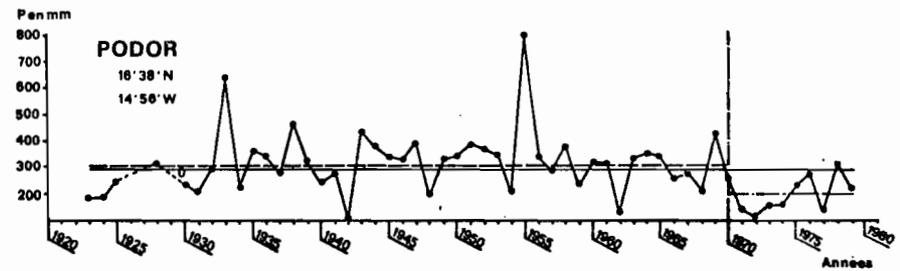
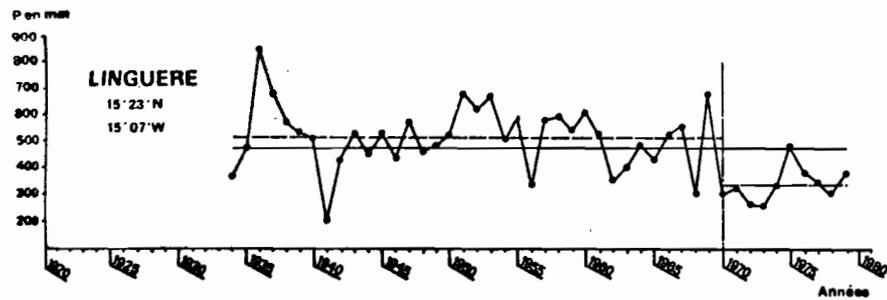
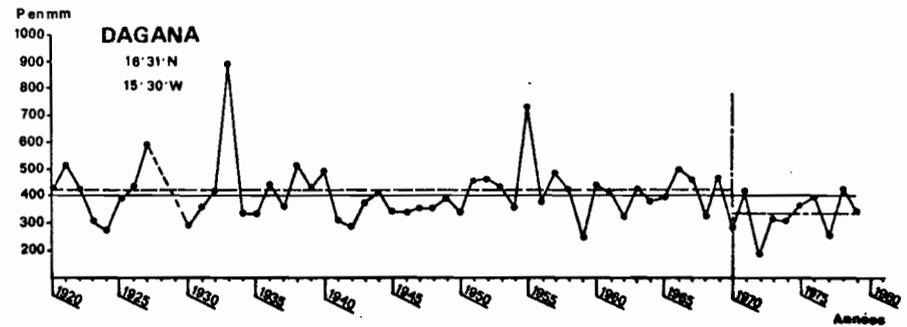
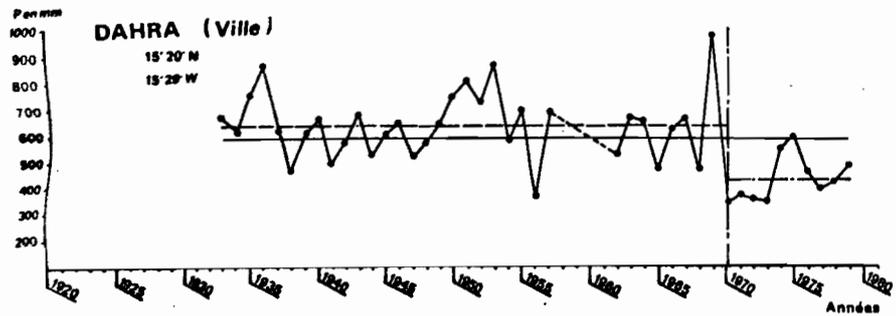
WISPELAERE (1980) indique l'existence, depuis les premiers relevés, d'années dont la pluviosité était inférieure à 25% de la moyenne générale, mais ces années restaient isolées dans des séries voisines ou supérieures à la moyenne. Depuis 1970, pour les cinq postes encadrant la zone, un net décrochement durable s'observe par rapport à la moyenne, entraînant une diminution générale de 24 à 37%. La décennie écoulée correspond donc effectivement à une période de déficit marqué (fig. N° 4 et tabl. N° 1).

Stations	Moyennes jusqu'en 1969			Moyennes 1970-1979			Moyennes générales		
	Période	Nbre d'années	Valeurs (en mm)	Période	Nbre d'années	Valeurs (en mm)	Période	Nbre d'années	Valeurs(en mm)
Dagana	1920-1969	48	318,3 ± 31,1	1970-1979	10	228,3 ± 52,4	1920-1979	58	302,8 ± 28,3
Podor	1923-1969	44	313,0 ± 35,3	1970-1979	10	194,4 ± 44,8	1923-1979	54	291,1 ± 32,1
Matam	1922-1969	42	519,5 ± 44,9	1970-1979	9	304,4 ± 63,5	1922-1979	51	481,6 ± 44,3
Dahra	1934-1969	33	525,7 ± 42,1	1970-1979	10	324,7 ± 60,1	1920-1979	43	478,9 ± 42,9
Linguère	1934-1969	36	517,4 ± 40	1970-1979	10	330,0 ± 42,8	1934-1979	46	476,7 ± 39,3

Tableau N° 1 - Données pluviométriques des principales stations encadrant la zone d'étude (de WISPELAERE, 1980).

Fig.4 DIAGRAMMES PLUVIOMETRIQUES (d'après de Wispelaere, 1980)

LEGENDE : — Moyenne générale  
 - - - de l'origine des données à 1969  
 - - - de 1970 à 1979



Les pluies se concentrent, pour 60% des précipitations annuelles, en août et septembre. La variabilité est plus marquée en début et en fin de saison des pluies et augmente du Sud au Nord et de l'Est vers l'Ouest.

Les indices de saisons pluviométriques situent Dagana et Podor (Nord de la zone) en "Climat subdésertique de type sahélo-saharien" tandis que Dahra et Linguère (Sud de la zone) se trouvent sous un "Climat tropical sec de type sahélo-sénégalais" (influence des alizés de la côte) (VALENZA et DIALLO, 1972).

#### b) Température (BILLE et *al.*, 1972a)

Calculées pour la période 1931-1960, les moyennes annuelles sont élevées : 28,4°C à Podor, 27,9°C à Linguère avec une première période chaude (maxima dépassant 40°C) d'avril à juin et une seconde, plus courte après les pluies en octobre (fig. N°5 ). Les amplitudes thermiques sont faibles : 9°C à Podor, 7,3°C à Linguère, ainsi que les variations entre le Sud et le Nord de la zone. Avec des moyennes de maxima supérieures à 35°C, le climat de cette région peut être considéré comme "désertique saharien" (VALENZA et DIALLO, 1972).

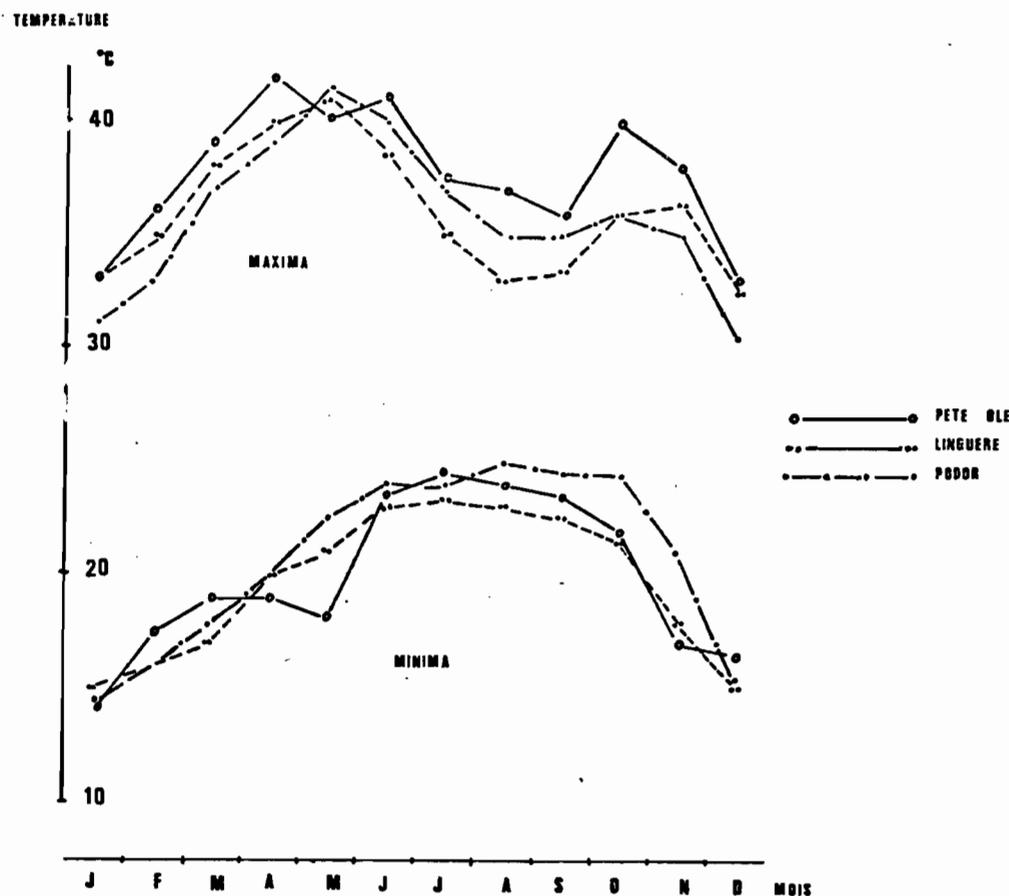


FIG. 5. VARIATIONS DES TEMPERATURES MENSUELLES ( d'après BILLE, LEPAGE ET POUPON 1972 )

c) Les Vents (BILLE et al. 1972b)

Deux vents prédominent en saison sèche : les alizés issus de l'anticyclone des Açores (Nord-Est) et l'harmattan (Nord) très chaud, provenant des hautes pressions nord africaines. Ces deux vents sont secs (les alizés traversent la Mauritanie au préalable).

En saison des pluies, soufflent principalement les vents d'Ouest chargés d'humidité.

d) Evaporation

En 1971, (BILLE et al. 1972a) l'évaporation annuelle a été plus marquée à Linguère (4233 mm) qu'à Podor (2702 mm). Particulièrement forte dans les derniers mois de la saison sèche (en moyenne 18 mm/jour à Linguère de mars à mai !), l'évaporation n'en reste pas moins très élevée en saison des pluies (en moyenne 6,2 mm/jour de juin à septembre).

### 1.5. Végétation

Contrairement aux sols, la végétation de cette zone a été étudiée par de nombreux chercheurs (ADAM, VALENZA, DIALLO, BILLE, CORNET, BOUDET etc...), elle est considérée comme une pseudosteppe arbustive dans le Ferlo sableux et d'une savane arbustive dans le Ferlo cuirassé.

a) Couvert ligneux

"Il semble que la physionomie actuelle soit beaucoup plus le reflet d'une action anthropique importante et d'une semi-aridité ayant suivi une période humide ... A un peuplement végétal méso-ophile, aurait succédé un peuplement xérophile par suite d'une action sélective des conditions climatiques arides" (VALENZA et DIALLO, 1972).

Très schématiquement il semble possible de considérer *Balanites aegyptiaca* comme l'espèce dominante du Ferlo sableux, et *Pterocarpus lucens* (en peuplements parfois monospécifiques) comme assez caractéristique du Ferlo cuirassé.

En dépit du déficit pluviométrique très important de la dernière décennie, les comparaisons entre 1972 et 1979 témoignent pour le Ferlo sableux d'une grande stabilité du *Balanites aegyptiaca* et même une extension de l'*Acacia senegal* et du *Boscia senegalensis* (BOUDET, 1980). Certaines espèces ont davantage souffert de la sécheresse (*Sclerocarya lineata*, *Combretum glutinosum*...). Ces observations concordent assez bien avec celles de POUPON et BILLE (1974) menées après les deux années de sécheresse particulièrement rudes (1972 et 1973).

Dans le Ferlo cuirassé, la strate ligneuse a par contre davantage souffert et certains peuplements de *Pterocarpus lucens* paraissent très touchés (WISPELAERE, 1980).

## b) Couvert herbacé

La cartographie des pâturages naturels du Nord Sénégal (VALENZA et DIALLO, 1972) s'est appuyée sur une classification fondée essentiellement sur des critères morpho-pédologiques. Les quarante unités cartographiques se regroupent en effet en 7 grandes classes désignées comme "Formations sur sols squelettiques, sur sols sableux, sur sols sableux à sablo-argileux" etc.... L'évolution floristique de ces parcours est suivie depuis une dizaine d'années. Ainsi BOUDET (1980) note une régression des espèces à affinités soudanaises (*Andropogon pseudocarpus*, *Elyonorus elegans*, *Blepharis linariifolia*...). D'autres espèces plutôt saharo-sahéliennes semblent avoir par contre profité de la sécheresse (*Mollugo nudicaulis*, *Triagus berteronianus*, *Helistropium stigosum*...) alors que *Aristida sieberana* et *Aristida stipoides* paraissaient stables.

Ce même auteur distingue cinq classes de parcours suivant leur production variant de moins de 100 kg M.S./ha (sur des sols gravillonnaires du Ferlo cuirassé) à 900 kg M.S./ha (sur sols de l'erg ancien). Il est à noter que la production de matière sèche par millimètre de pluie est très nettement supérieure pour la classe 5 (3,6 kg de M.S./ha/mm) à celle de la classe 1 (0,25 kg de M.S./ha/mm) appartenant pourtant à la zone la plus arrosée de la région étudiée. Selon BOUDET (1980), il faudrait plutôt rechercher parmi les caractéristiques physiques des premiers centimètres de sol plutôt que parmi les paramètres chimiques de l'ensemble des horizons, les principales causes des différences de productivité.

## 1.6. Activité pastorale

### a) Population humaine (BARRAL, communication orale)

La population de la région est constituée d'une très large majorité de pasteurs peuhls et d'une faible minorité de Maures. D'autres ethnies sont représentées par les agents de l'Administration mais ne forment qu'une part infime de la population.

Encore très peu dense de nos jours (environ 28500 habitants soit moins de 3 habitants/km<sup>2</sup>), cette région était appelée naguère le "désert du Ferlo" tant elle était vide la majeure partie de l'année. En effet au fur et à mesure que les mares temporaires s'asséchaient après l'hivernage, les hommes et les troupeaux gagnaient des régions où l'alimentation en eau était moins problématique (vallée du fleuve Sénégal, ou contrées plus méridionales).

Aux puits traditionnels, surtout abondants dans la vallée sèche du Ferlo, ont succédé au début du siècle, des puits plus profonds (une soixantaine de mètres) qui restaient cependant à exhaure manuelle et ne permettait donc pas le maintien en saison sèche de l'ensemble de la population animale. La découverte par le B.R.G.M. de l'importante nappe maastrichtienne (10<sup>12</sup> m<sup>3</sup> couvrant 150.000 km<sup>2</sup> !) et la mise en service (entre 1952 et 1957) de forages profonds (170 - 290 m) à exhaure mécanique a profondément modifié le système pastoral, entraînant une nette tendance à la sédentarisation. Les déplacements se limitent en effet de nos jours à quelques kilomètres, les campements suivant à peu près la progression du "front de broutage" qui s'éloigne progressivement des forages en

saison sèche. Dans ces conditions l'abreuvement s'effectue tous les deux jours, les parcours dépassant rarement une quinzaine de kilomètres autour des forages.

#### b) Le cheptel (MEYER, 1980)

Les comptages opérés récemment sur la zone d'étude permettent d'évaluer à 100.000 le nombre de bovins ce qui représente 9,2 bovins/km<sup>2</sup> et 3,7 bovins/habitant. A ces chiffres, il semble que l'on puisse ajouter (par habitant) : 4 petits ruminants (2,4 ovins, 1,6 caprin) 0,2 âne et 0,05 chameau. Alors que la densité bovine varie de 9,4 bovins/km<sup>2</sup> à 11,0 bovins/km<sup>2</sup> suivant les forages appartenant au Ferlo sableux, elle n'est que de 6,2 bovins/km<sup>2</sup> dans la partie étudiée du Ferlo cuirassé.

## II. APERCU METHODOLOGIQUE

### 2.1. Choix des sites

Compte tenu de la durée des deux missions prévues, il était exclu d'entreprendre une étude sur l'ensemble des 13 forages. Il s'est avéré donc nécessaire d'en sélectionner un nombre limité (3) suffisamment représentatifs des grands types de milieu. Nous avons suivi, dans ce choix, les conseils de VALENZA, Agrostologue de l'IEMVT, dont le rapport (VALENZA et DIALLO, 1972) constitue le principal document de base existant à l'heure actuelle sur cette région.

Les trois forages retenus sont :

- . TATKI, pour les "formations sur sol sablo-argileux à argilo-sableux",
- . TESSEKRE, pour les "formations sur sol sableux à sablo-argileux"
- . REVANE, pour les "formations sur sol squelettique".

Les deux premiers forages appartiennent au "Ferlo sableux" (ainsi que 9 autres forages), tandis que REVANE se rattache au "Ferlo cuirassé" (comme celui de LOUGUERE TIOLI).

Les trois sites s'alignent sensiblement selon un transect Nord-Ouest/Sud-Est, long de 120 km (cf. carte de situation). Si l'on se réfère aux postes climatologiques de Dagana et de Linguère (tabl. N° 1), TATKI recevrait près de 200 mm de moins que RAVANE.

En vue d'étudier l'effet du piétinement du bétail sur l'évolution de la surface des sols et de collaborer avec d'autres disciplines, il a été décidé d'effectuer les observations sur les mêmes points que les agrostologues de l'IEMVT (VALENZA et BOUDET). Un ou deux rayons issus du point d'abreuvement, suivant les lignes de pare-feux, servent à repérer les points d'études correspondant aux différentes couronnes : 0, 100 m, 200 m, 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 3000 m, 4000 m, 5000 m, 7000 m et 10000 m. Nous n'avons pas réalisé de relevés systématiques sur des points plus éloignés que 10 km, considérant qu'à cette distance l'influence du forage était négligeable.

En outre, quand la possibilité s'en est présentée, des observations ont été réalisées dans les zones mises en défens.

## 2.2. Approche morphologique

Nous distinguons les descriptions qui permettent de mettre en évidence l'évolution à moyen terme des surfaces par rapport à celles du milieu originel (depuis la mise en service des forages) de celles qui insistent davantage sur leur dynamique rapide au cours d'une seule saison des pluies :

### 2.2.1. Description du milieu et de son évolution à moyen terme

Les principaux sols ayant déjà été décrits par LEPRUN (*in* : VALENZA et DIALLO, 1972), nous nous sommes contentés de ces documents, au moins pour la première mission, pour ce qui concerne le domaine proprement pédologique. Les caractères de surface et notamment les plus symptomatiques d'érosions hydrique ou éolienne ont été étudiés suivant une technique déjà utilisée en Haute-Volta et au Niger (VALENTIN, 1981) :

- . pour chaque point d'étude les différents types de surface sont repérés (par exemple : zone nue à pellicule, recouvrement sableux, piétinement radial, termitières actives ou anciennes etc...). Leur distribution spatiale ainsi que leur importance relative est appréciée en chaque point d'étude des transects radiaux ce qui permet d'estimer leur évolution à partir du milieu non (ou très peu) perturbé (point km 10) jusqu'aux abords immédiats (quelques mètres) du point d'abreuvement (point 0).
- . chaque type de surface est constitué de plusieurs micro-horizons décrits *in situ* (couleur, texture, cohésion, porosité, relation avec les micro-horizons sus et sous-jacents, etc..). Des échantillons sont indurés sur place selon la méthode utilisée par les palynologues et préconisée par LEPRUN (1979) : des cubes de terre sont isolés en place et recouverts d'une solution d'acétate de cellulose (50 g/l) dilué dans l'acétone. Une fois secs et découpés, ces échantillons, d'ordinaire très fragiles, peuvent être transportés sans problèmes jusqu'au laboratoire de préparation de lames minces. L'observation microscopique des différents micro-horizons constituant les surfaces assure en effet une meilleure compréhension de leur organisation et de leur dynamique. Quarante échantillons ont ainsi été sélectionnés lors de la première mission.

### 2.2.2. Appréciation de la dynamique à court terme

Deux missions ayant été prévues, avant et après la saison des pluies, l'évolution à court terme des surfaces de sol devraient pouvoir être mise en évidence grâce à un certain nombre d'approches :

- . Les nombreuses descriptions effectuées en mai et juin, devraient être reprises en novembre-décembre. Ce travail sera facilité par la comparaison des clichés réalisés au cours des deux missions.

- . Deux survols aériens avant et après les pluies doivent être entrepris au-dessus du rayon de REVANE afin d'évaluer, à l'aide de photographies à très grande échelle, la progression de l'érosion hydrique, particulièrement sensible dans cette région du "Ferlo cuirassé".
- . Deux repères doivent permettre d'estimer les vitesses d'évolution des formations superficielles ; il s'agit de clous enfoncés dans le sol au contact de figures d'érosion hydrique (en "marches d'escalier") ou de surfaces caractéristiques (limite entre une zone nue pelliculaire et un recouvrement sableux par exemple). Les clous émergent du sol d'une hauteur de 2 cm.

### 2.3. Approche quantifiée

#### 2.3.1. Mesures *in situ*

Plusieurs types de mesures ont été réalisées lors de cette première mission à TATKI et à TESSEKRE. Elles ont porté sur les densités apparentes et sur les teneurs en nitrates des horizons superficiels afin de mettre en évidence deux éventuels gradients liés au bétail le long des transects radieux : l'un concernant le tassement, l'autre les teneurs en azote.

##### a) densité apparente

Les mesures de densités apparentes ont été menées par la technique du cylindre (100 cm<sup>3</sup>), la valeur retenue étant à chaque fois la médiane de trois répétitions ; ce nombre faible semble toutefois suffisant pour de tels milieux homogènes. Les pesées ont été effectuées sur le terrain à l'aide d'une balance de joallier. Il n'a pas été tenu compte de l'humidité (inférieure à 1% dans les horizons superficiels étant donnée la précision des mesures qui est faible (de l'ordre de 5%) mais reste cependant inférieure aux variations enregistrées.

##### b) nitrate

Les mesures des teneurs en nitrates ont été réalisées à l'aide d'une trousse de terrain, le dosage s'effectuant par colorimétrie. En fin de saison sèche, la nitrification est très ralentie d'où l'obtention de teneurs faibles. De telles mesures n'ont été entreprises qu'à TATKI.

##### c) profils hydriques

Afin d'étudier l'influence des surfaces de sol sur l'infiltration et le maintien de l'eau dans les sols, six profils hydriques de 2 m, (prélèvements tous les 20 cm) ont été réalisés sur trois sites de TATKI, soit deux répétitions par site. Les échantillons humides ont été pesés à Dakar (après dessiccation à l'étuve à 105°C).

#### d) analyses de laboratoire

Pour les trois forages étudiés, une quarantaine d'échantillons d'horizons ou de micro-horizons de surface ont été prélevés en vue de leur analyse mécanique (granulométrie des sables) et chimique (rapport C/N) ; ces différentes données devraient apporter des renseignements intéressants sur la nature des processus (éolisation, érosion hydrique) et sur la matière organique.

### III. RESUME DES PREMIERES OBSERVATIONS

#### 3.1. TATKI

Le forage de TATKI, mis en service en 1956, est situé dans une région homogène de l'erg ancien ; il s'agit d'une plaine qui présente quelques ondulations dans sa partie méridionale.

Des deux transects radiaux étudiés (en direction de Richard Toll et de Boki Divé), nous avons retenu, pour les mesures, celui qui appartenait au milieu le plus homogène quant à la géomorphologie, c'est-à-dire le transect septentrional.

Le profil type, décrit le long de ce pare-feu, est du type ferrugineux peu lessivé, bien différencié à horizon (B) de cohésion sur matériau sablo-argileux compact : (profil situé à 12 km de TATKI en direction de Richard Toll - Description LEPRUN *in* : VALENZA et DIALLO, 1972).

- 0-24 cm : sableux faiblement argileux (sable moyen et grossier) gris (10 YR-5/3,5) en surface pellicule de 3 à 5 cm d'épaisseur à structure lamellaire à massive ; cohésion moyenne ; porosité tubulaire faible ; enracinement graminéen fin bien développé sur 5 cm moins bien en-dessous ; contraste faible ; transition 5 cm.
- 24-40 cm : sableux un peu plus argileux (8 à 10%) brun rouge encore un peu gris (6,75 YR 5/6) ; structure polyédrique (4 à 5 cm) en assemblage assez compact ; cohésion d'ensemble moyenne à faible ; porosité tubulaire fine assez bonne ; enracinement vertical bien développé ; contraste moyen à fort ; transition 3-5 cm.
- 40-85 cm : sablo-argileux (18 à 20%) un peu plus rouge (5 YR 5,5/8) ; structure massive à débit plus difficile moyennement forte à très forte ; porosité tubulaire fine plus faible et moyenne peu développée ; enracinement fin faible ; contraste assez faible, transition 5 cm.
- >85 cm : un peu moins argileux (10-12%) plus jaune (6,75 YR 6/8) ; structure massive à débit assez difficile ; cohésion moyenne à faible et d'ensemble plus forte ; très compact ; porosité tubulaire moyenne faible ; enracinement fin, faible à nul.

- Il est possible de noter quelques variations au niveau :
- de l'horizon (B) qui peut :
    - . être plus compact et comporter des stries millimétriques d'argile et d'oxyde de fer ou des traces d'hydromorphie
    - . ou avoir une teneur plus élevée d'argile (passage à sol lessivé) ;
  - de l'horizon (C) qui, toujours compact, peut être moins argileux.

Le couvert végétal est du type steppe arbustive (VALENZA et DIALLO, 1972).

Il n'est tombé, en 1980, que 144 mm de pluie alors que la moyenne calculée sur 58 ans (1920-1979) pour le poste ancien le plus proche est de 302,8 mm (Dagana, tabl. N° 1).

#### A - Définition et description des zones d'influence du forage

La description des surfaces, en 12 points situés sur les transects radiaux sélectionnés, a permis de délimiter des grandes zones concentriques ayant pour centre le point d'abreuvement. Si la taille des couronnes peut varier suivant les transects, la succession paraît constante et caractéristique du milieu. Grâce à l'examen de ce nombre relativement élevé de points, il a été possible d'éliminer certaines variations locales (légères dépressions, ondulations, campements, etc...).

Quatre couronnes principales ont été distinguées, les distances étant repérées à partir de l'abreuvoir principal.

##### 1) Km\_5-10 : milieu naturel très peu perturbé

Les surfaces du milieu naturel se caractérisent dans cette région "sablo-argileuse" par une nette différenciation des surfaces nues pelliculaires et des recouvrements sableux constituant des micro-buttes.

Les surfaces nues pelliculaire sont des formes et des dimensions variées (de 1 à 40 m de diamètre), elles représentent de 10 à 30% de la surface totale.

En coupe elles apparaissent comme une succession de micro-horizons qui peuvent se caractériser succinctement :

- 0 - 1 mm : discontinu, comble les micro-dépressions, sables fins, sec : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8), humide : brun vif (7,5 YR 4/6), assez cohérent sauf au sommet où les sables sont déliés, porosité vésiculaire marquée ( $\emptyset$  0,5 mm), solidaire du micro-horizon suivant.
- 1 - 2 mm : continu, sables fins et éléments fins, sec : brun clair (7,5 YR 6/4), humide : brun (7,5 YR 4/4) pelliculaire, cohérent, porosité vésiculaire très fine ( $\emptyset$  0,2 mm) peu marquée, solidaire de l'horizon suivant.

- 2 - 80 mm : continu, sec, peu organique, sablo-argileux à sables fins, sec : rouge jaunâtre (5 YR 5/6) humide : brun rougeâtre (5 YR 4/4), structure polyédrique nette moyenne, fragile, pas de racine.

Les micro-buttes couvrent de 70 à 90% de la surface totale ; elles n'excèdent pas 15 cm de haut, leurs formes et leurs dimensions sont très variées (diamètre : 1 à 10 m). Elles présentent une succession d'horizons assez complexe, par exemple :

- 0 - 1 mm : débris végétaux en surface, sables fins, très faiblement argileux, sec : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6), humide : brun (7,5 YR 4/4), pelliculaire, très fragile, porosité vésiculaire 0,5 mm), solidaire du micro-horizon suivant.
- 1 - 3 mm : continu, sables fins, sec : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6), humide : brun (7,5 YR 4/4), non structuré, bouillant contenant des résidus végétaux, non solidaire du micro-horizon suivant.
- 3 - 80 mm : successions de micro-horizons identiques aux précédents (8 systèmes sont encore aisément discernables) qui confèrent à l'ensemble une structure lamellaire, racines très fines verticales, activité biologique.
- >80 mm : correspondant à la base de la micro-butte, pellicule du même type que celle décrite pour la surface nue, mais présentant des perforations de 5 à 10 mm de diamètre, très probablement d'origine biologique, sur 20% de la surface.

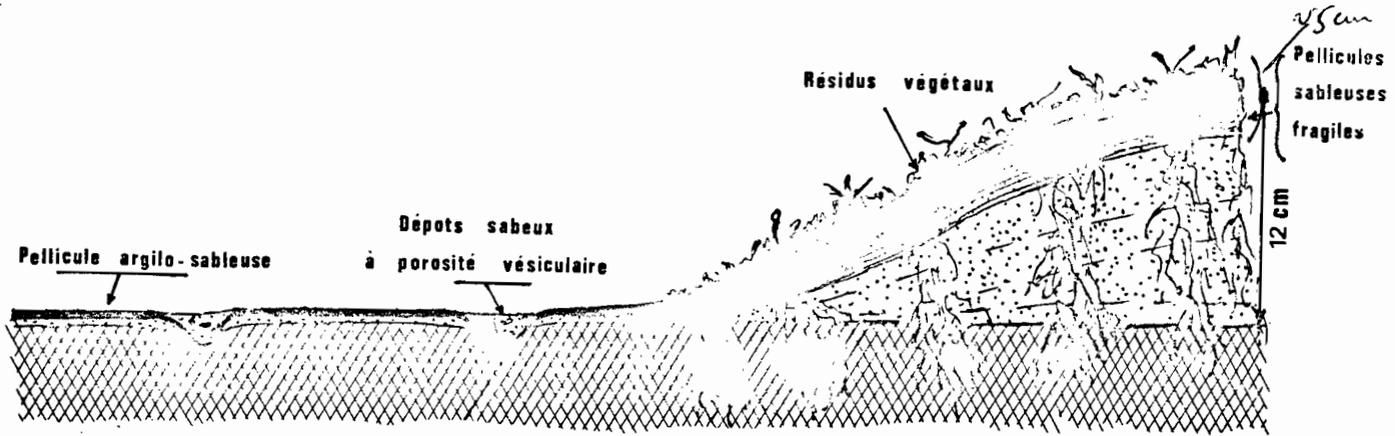
Ce type de formation constituée de surfaces nues et de micro-buttes sableuses (fig. N° 6) résulte probablement de processus complexes. Les descriptions précédentes démontrent toutefois que les micro-buttes correspondent à des recouvrements sableux des pellicules nues. Ces recouvrements se forment peu à peu (d'où la succession des pellicules sableuses enterrées qui correspondent à d'anciennes surfaces) et se déplacent probablement. Lors d'une étude dans le Gourma (Mali) LEPRUN (1979) suggère que ces buttes pourraient se détruire par l'aval (érosion hydrique) et se reconstituer en amont par apport des terres érodées d'autres buttes. L'implantation de repères sur les limites surface nue/recouvrement sableux sur une pente de 1,5% doit permettre la mise en évidence d'un tel phénomène.

Nous considérons cependant que le vent est l'agent principal, puisque ce type de formations apparaît également sur les surfaces planes.

Cette couronne correspond au milieu naturel, très peu perturbé en dépit de traces de piétinement peu abondantes et de type aléatoire.

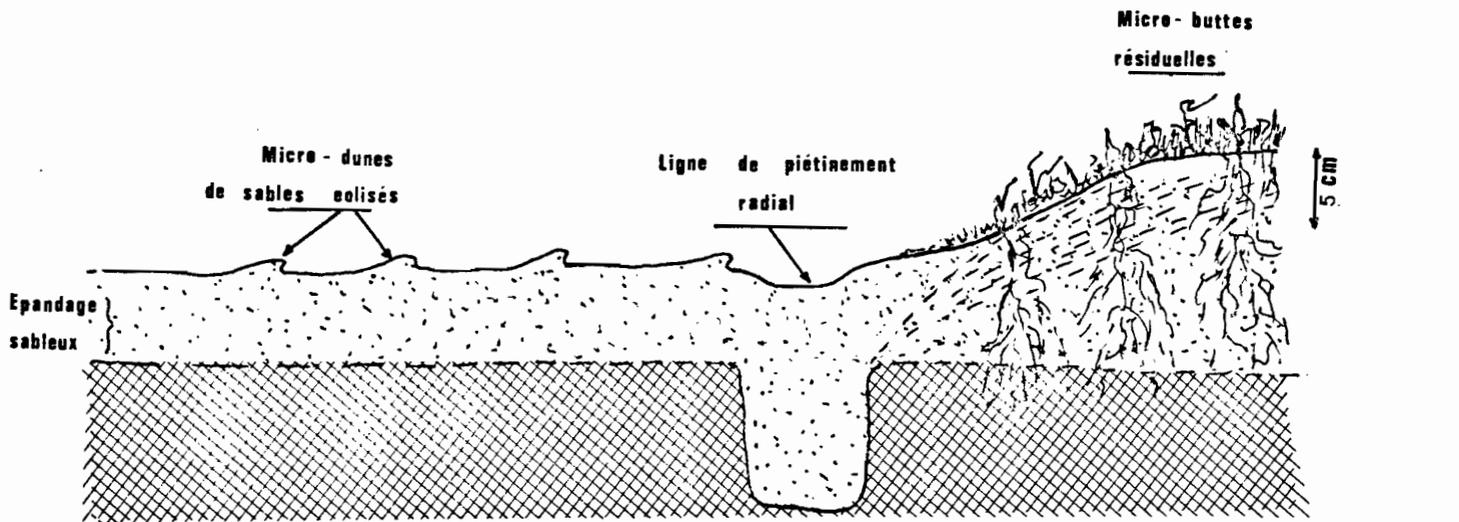
## 2) Km 2,5 - 5 : couronne d'apparition du piétinement radial

En se rapprochant du forage apparaît un type de piétinement caractéristique qui correspond non pas à l'exploitation du pâturage (piétinement aléatoire) mais au déplacement des troupeaux vers l'abreuvoir. Ces lignes de piétinement convergent vers le forage, d'où la désignation de "piétinement radial".

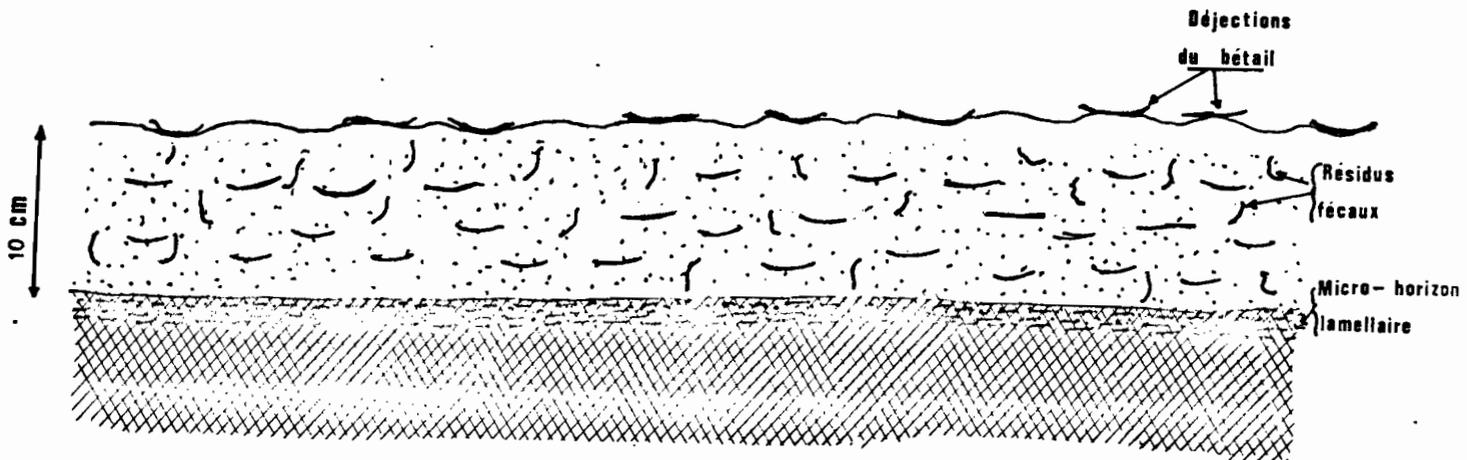


Km 10 : MILIEU NATUREL PEU PERTURBE

FIG. 6 EVOLUTION DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DES SOLS EN FONCTION DE LA DISTANCE AU FORAGE. TATKI.



Km 2 : PIETINEMENT RADIAL ET EOLISATION



Km 0-5 : PIETINEMENT ET ENSABLEMENT GENERALISES

Si la surface affectée par un tel piétinement reste faible, les effets n'en sont pas moins importants : les surfaces nues de la couronne précédente se couvrent progressivement d'un épandage sableux dont l'épaisseur (1 cm en moyenne) et l'extension augmentent en direction du forage. Les micro-buttes sableuses, pour leur part, diminuent de hauteur et ont tendance à s'allonger en fuseaux de moins en moins larges orientés vers le point d'abreuvement.

La distinction entre surfaces nues et micro-buttes sableuses, nette dans la couronne précédente, s'estompe sur celle-ci.

### 3) Km 1 - 2,5 : couronne de piétinement radial et d'éolisation

Le piétinement radial est encore plus marqué sur cette couronne. Il peut affecter la moitié de la surface totale. Le creusement qu'il provoque sur la surface du sol est généralement peu marqué (2 cm) ; il affouille par contre plus profondément l'horizon sous-jacent (une dizaine de centimètres) (cf. fig. N° 6 ).

L'épaisseur des épandages sableux non pelliculaires est plus importante que sur la couronne précédente (5 -10 cm). Ils présentent des signes nets d'éolisation : ségrégation des sables grossiers, formations de micro-dunes (hauteur 2 cm) piégeage du vent par les arbustes ou les branches mortes, etc...

Les surfaces nues pelliculaires ne sont plus visibles étant recouvertes par des épandages sableux. Les micro-buttes sont peu perceptibles : très faibles hauteurs, et allongement en faisceaux radiaux très étroits, délimités par les lignes de piétinement radial.

Sur cette couronne, l'ensablement est total ; subsistent cependant quelques îlots de micro-buttes sableuses pelliculaires et de pellicules indurées enfouies, témoins des surfaces naturelles (Fig. N° 6 ).

### 4) Km 0 - 1 : cercle d'ensablement généralisé

Dans un rayon d'un kilomètre autour du point d'abreuvement, il ne reste plus trace des anciennes organisations (zones nues et micro-buttes) remplacées par une surface homogène constituée d'un premier horizon, épais de 10 à 12 cm, sableux, bouillant, contenant de nombreux débris fécaux, qui repose sur un horizon à sommet lamellaire, également sableux mais nettement plus cohérent.

Au sein de cette couronne, il est possible de distinguer deux zones concentriques dont la surface diffère par la charge fécale, la couleur et la densité apparente.

Le premier cercle dont le rayon n'excède pas une dizaine de mètres autour de l'abreuvoir principal présente la succession d'horizons suivante :

- 0 - 12 cm : continu, sableux, très forte charge fécale : résidus de déjections de 1 à 2 cm, structure particulière, bouillant, porosité interparticulaire, sec : brun (7,5 YR 5/4), humide : brun foncé (7,5 YR 3/4), non solidaire du micro-horizon sous-jacent.
- 12 - 12,2 cm : continu, sablo-argileux, structure lamellaire nette, cohérent, très faible porosité, sec : brun (7,5 YR 4/2), humide : brun foncé (7,5 YR 3/2) solidaire de l'horizon sous-jacent.

La couronne périphérique diffère légèrement :

- 0 - 10 cm : continu, sableux, structure particulaire, charge fécale importante, bouillant, porosité interparticulaire, sec : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6), humide : brun vif (7,5 YR 5/6), non solidaire de l'horizon sous-jacent.
- 10 - 12 cm : continu, sableux, faible porosité, structure lamellaire, assez cohérent, sec : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6), humide : brun vif (7,5 YR 5/6), solidaire de l'horizon sous-jacent.
- 12 - 20 cm : continu, sableux, massif, très faible porosité, sec : et + brun jaunâtre clair (10 YR 6/4), humide : brun jaunâtre (brun jaunâtre).

L'ensemble de ces deux cercles concentriques se caractérise par :

- un horizon sableux totalement piétiné
- l'absence de piétinement radial
- l'absence de termitières épigées pourtant présentes dans les autres couronnes, ainsi que d'autres traces d'activité biologique.

Les principales observations effectuées sur les différentes couronnes peuvent être résumées sur le tableau suivant :

Km	Termitières épigées	Surfaces nues pelliculaires	Microbuttes sableuses	Epanchages sableux éolisés	Piétinement	
					Radial	Aléatoire
5 - 10	*	III	IIII	-	-	I
2,5 - 5	*	II	IIII	I	I	II
1 - 2,5	*	I	I	IIII	III	II
0 - 1,0	-	-	-	-	-	IIII

Tableau N° 2 : Caractérisation schématique des types de surfaces des couronnes d'influence du forage de TATKI.

Légende :

- absence
- \* présence non quantifiée
- I " par traces
- II " peu marquée
- III " très marquée
- IIII " quasi totale

## B - Résultats des mesures

### 1) Teneur en nitrates

Une teneur élevée en nitrates (35,5 ppM) a été trouvée à proximité immédiate du forage. Elle peut être attribuée à la concentration en ce lieu des apports ammoniacaux d'origine urinaire. La nitrification des matières fécales semblent par contre moins bien assurée en saison sèche puisque la teneur mesurée au point Km 0,5 chute brutalement (1,5 ppM).

Plus loin, des teneurs légèrement plus élevées sont obtenues au sein des micro-buttes où semblent subsister une activité biologique. En revanche, les surfaces nues pelliculaires, qui sont, rappelons-le, dépourvues de végétation en saison des pluies, contiennent très peu de nitrates en fin de saison sèche.

Ces résultats ne préfigurent en rien l'importance de la nitrification en début de saison des pluies qui doit fournir une quantité importante de nitrates surtout dans le premier cercle, particulièrement riche en déjections fécales.

### 2) Réserves en eau

Il est hasardeux de comparer des profils hydriques situés à près de 5 km de distance sous un tel climat où les pluies sont aléatoires non seulement dans le temps mais également dans l'espace.

Les deux profils réalisés au Km 5 apportent des résultats paradoxaux : c'est sous les surfaces pelliculaires que le stock d'eau est le plus important : si l'on prend 1,5 comme valeur moyenne de densité apparente, il subsiste en effet en fin de saison sèche, sur 200 cm : 90 mm d'eau (83-97) sous ces surfaces, contre 43 mm (39-47) pour les profils réalisés dans les micro-buttes. Ces quantités correspondent respectivement à 65% et 29% de la pluviométrie de la dernière saison de pluies.

Plusieurs remarques peuvent être émises à partir de tels résultats :

- la différence entre les deux profils peut s'expliquer par la consommation en eau par les racines des graminées implantées sur les micro-buttes, alors que les pellicules indurées restent nues ;
- les surfaces nues pelliculaires ont une infiltrabilité très faible, bien inférieure au micro-butte sableuse (COLLINET et al., 1980), il y aurait donc redistribution latérale de l'eau, des bas potentiels sous micro-butte vers les forts potentiels sous pellicule indurée ;
- il y a maintien d'une année sur l'autre d'un stock d'eau non négligeable ;
- ces hypothèses demandent pour être confirmées l'examen des profils pédologiques correspondants et la réalisation de nouveaux prélèvements en début de saison sèche.

L'interprétation des résultats obtenus pour les deux profils effectués au Km 0,5 est plus délicate, les deux répétitions étant trop différentes : 71,1 et 121,2 mm. Notons cependant que de telles valeurs sont du même ordre que celles obtenues sous pellicule indurée. Le maintien d'un tel stock d'eau pourrait s'expliquer par

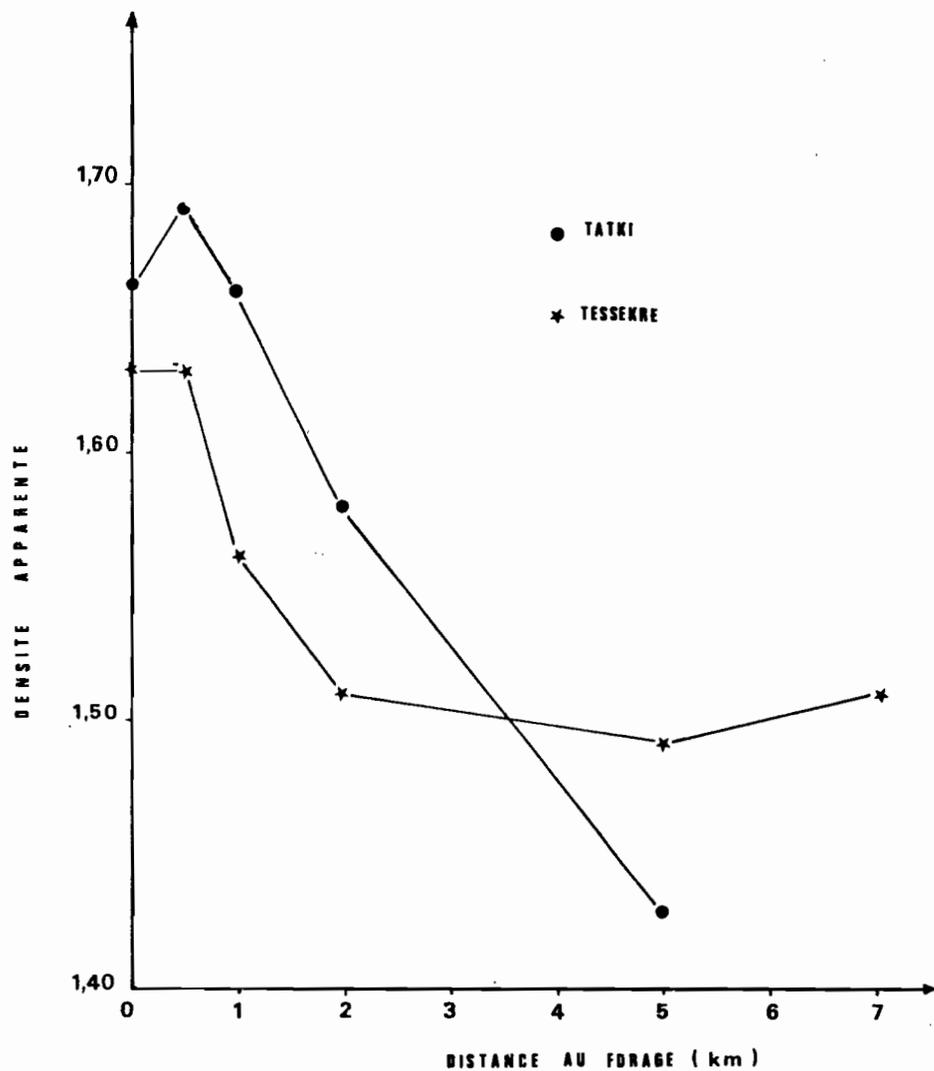
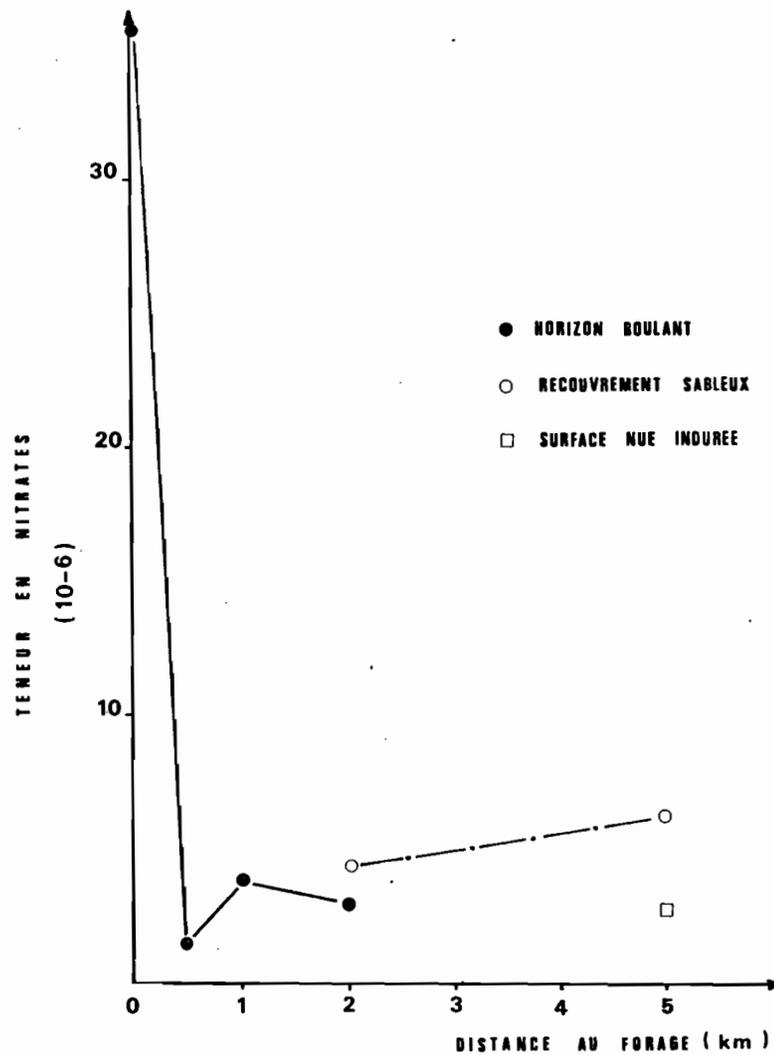


FIG.7 EVOLUTION DE LA DENSITE APPARENTE DE L'HORIZON SITUE SOUS LES EPANDAGES SABLEUX EN FONCTION DE LA DISTANCE AU FORAGE.



EVOLUTION DE LA TENEUR EN NITRATES DE L'HORIZON SUPERFICIEL EN FONCTION DE LA DISTANCE AU FORAGE. (TATKI)

une infiltration quasi-totale (pas ou très peu de pente, rugosité importante de la surface assurée par le piétinement, absence de pellicule, surface sableuse...), et une évapotranspiration limitée (élimination rapide par le bétail des graminées apâtées, discontinuité capillaire au sein du profil pédologique : l'horizon superficiel de sables bouillants jouant le rôle de mulch).

### 3) Densité apparente

A défaut de mesures pénétrométriques, nous avons procédé à des prélèvements de densités apparentes en vue d'apprécier un éventuel effet de tassement dû au bétail. Les essais ont porté sur l'horizon massif situé sous les micro-buttes et les épandages sableux.

Malgré le manque de précision de ces mesures, une nette évolution de la densité apparente se fait sentir du milieu naturel peu perturbé (d.a. : 1,43) à la proximité immédiate du forage (d.a. : 1,66). Notons cependant que cette augmentation de densité s'accompagne d'une diminution de porosité qui reste relativement faible (de l'ordre de 10% (de 36% à 26%) si l'on considère que le matériau a une densité réelle de 2,24), (fig.N°7).

## C - Observations annexes

### 1) Périmètres mis en défens

Deux zones mises en défens ont été étudiées sommairement. La première, Fété Olé (carte, fig. N° 3) a été délimitée en 1967 par l'ORSTOM (cf. Travaux de BILLE, CORNET, LEPAGE, MOREL, POUPON, etc...). Elle appartient au milieu naturel décrit précédemment. Il existe en effet une nette différenciation entre les surfaces nues pelliculaires et les micro-buttes sableuses. Des traces d'érosion hydriques en nappe apparaissent nettement (en "marches d'escalier") à proximité des légères dépressions, malgré les faibles pentes (2%). La dynamique de ces surfaces devraient pouvoir être mise en évidence grâce aux repères implantés sur place.

Le deuxième périmètre étudié a été mis en défens en 1974 en vue d'une plantation forestière. Il est situé dans la deuxième couronne (piétinement radial et éolisation). Plusieurs caractères ont été relevés :

- le couvert végétal (surtout graminéen) est plus dense qu'ailleurs (la mise en défens est donc effective),
- les lignes de piétinement radial sont encore perceptibles,
- là où le sol a été travaillé (labour sur 50 cm à l'aide de charrues à disques ?) des petites plages nues pelliculaires se sont formées ; elles n'excèdent cependant pas 2 m de diamètre et 10% de la surface totale. Là où le sol ne semble pas avoir été travaillé, une individualisation de surfaces nues pelliculaires (de 20 à 50 cm de diamètre) et moins de 10% de la surface totale) semble également se dessiner ; une pellicule sableuse fragile couvre les autres surfaces,
- des traces d'érosion hydrique, moins marquée qu'à Fété Olé apparaissent également sur les versants des légères dépressions.

## 2) Parcelles cultivées

Un champ clôturé situé à 5 km de TATKI sur la route de Fété Olé, nous a permis d'effectuer quelques observations sur l'effet de la culture du mil sur les surfaces des sols.

La quasi totalité des ligneux a été détruite - il reste moins d'un arbre à l'hectare - le bois servant à la fabrication de la clôture et des cases du campement situé à proximité. Les arbres, de plus, seraient accusés d'être responsables de la prolifération des oiseaux "mange-mil". Les différentes parcelles se regroupent toutes à la périphérie d'une dépression, mare temporaire qui s'assèche dans les premiers mois suivant la saison des pluies, donc sur des pentes qui, pour ne pas être très fortes, n'en sont pas pour autant négligeables (1 - 2%).

L'individualisation entre les surfaces nues, d'ailleurs prédominantes et les micro-buttes bien marquées (12 cm de haut) est très nette. Malgré le sarclage, les pellicules indurées se sont reconstituées et sont dépourvues de pieds de mil (ceci rejoint les observations et les expérimentations menées sous pluies simulées à Oursi - COLLINET et *al.*, 1980). La densité des tiges de mil est très faible, localisée aux micro-buttes sableuses. Sur celles-ci se manifeste une éolisation corroborée par l'ensablement des pieds de mil. L'existence de micro-relief en "marches d'escalier", de ravines et d'arbres déchaussés témoignent de l'importance de l'érosion hydrique.

La mise en culture des mêmes parcelles pendant plusieurs années (au moins sept ans pour ce champ) sur des sites déjà sensibles du fait des pentes et fragilisés par l'abattage des arbres, prédispose à une dégradation du milieu qui ne peut être que difficilement légitimée par des rendements extrêmement bas et aléatoires. Notons cependant que ces champs clôturés (d'une dizaine d'hectares) ne constituent qu'une part infime de la zone étudiée.

## 3.2. TESSEKRE

Le forage de TESSEKRE, mis en service en 1956, appartient à un cordon de l'erg ancien bordé de couloirs interdunaires.

Deux rayons ont été étudiés : le premier en direction de TATKI présente quelques ondulations tandis que le second, dirigé vers LAGBAR est nettement plus homogène quant au relief. C'est sur ce dernier que les mesures ont porté : il s'agit jusqu'au Km 7 d'une pénéplaine haute s'inclinant au-delà vers une plaine interdunaire dont la nature pédologique (sol brun subaride hydromorphe) diffère largement du reste.

Ainsi au Km 10, appartenant au couloir interdunaire, l'organisation des surfaces s'apparente davantage à celle du milieu naturel de TATKI, malgré une nette prédominance des surfaces nues pelliculaires, qu'à celle de la pénéplaine haute du cordon dunaire. Une étude détaillée des variations superficielles le long du versant dunaire devrait s'avérer très intéressante mais n'a pas été entreprise lors de cette première mission ; nous avons dû nous restreindre, faute de temps, aux sept premiers kilomètres comptés à partir du forage.

Sur la pénéplaine haute, le sol est du type ferrugineux peu lessivé à (B) de cohésion bien développé sur matériau sableux faiblement argileux d'origine éolienne : (profil situé à 4 km au Nord de TESSEKRE en direction de TATKI - description LEPRUN *in* : VALENZA et DIALLO, 1972).

- 0 - 25 cm : horizon humifère gris pâle à gris brun (10 YR 6/3) sableux moyen très faiblement argileux à limoneux en surface, un peu plus argileux en dessous ; structure massive, débit moyennement aisé largement ondulé ; cohésion moyenne à faible avec légère tendance à une structure prismatique large sur les 10 premiers centimètres, dessous plus faible ; porosité intersticielle fine peu visible bonne, tubulaire fine et moyenne bonne, tubulaire large par plage biologique ; enracinement moyen et fin bien développé sur 10 cm (racines transversales) puis enracinement fin et vertical ; contraste assez faible, transition 1 à 2 cm.
- 25 - 47 cm : horizon de pénétration humifère légèrement grisâtre à brun jaune (7,5 YR 5,5/6) sableux faiblement argileux ; structure massive à orientation vaguement verticale, débit moins aisé mamelonné à faiblement anguleux ; cohésion plus faible des mottes, mais plus forte d'ensemble ; porosité semblable, mais tubulaire fine peu développé tendance vers A 2 ; enracinement fin faible, moyen transversal et vertical concentré vers le bas ; contraste moyen à faible, transition 5 cm.
- 47 - 75 cm : jaune clair (7,5 YR 6/7) un peu plus argileux ; structure massive, débit aisé plan à faiblement mamelonné ; cohésion faible ; porosité tubulaire fine moyenne, interstitielle non visible bien développée ; enracinement très fin en tous sens bien développé ; contraste faible, transition brutale 1 cm.
- 75 - 105 cm : jaune légèrement rougeâtre (7,5 YR 5,5/8) plus argileux ; structure massive à débit un peu moins aisé ; cohésion d'ensemble plus forte, des mottes à peine plus forte, variable (noyau argileux plus dur de 3 à 4 cm de diamètre) ; porosité tubulaire fine plus faible ; enracinement fin plus faible peu développé, ségrégations jaunes maximales sur 10 cm à la base, contraste faible, transition assez brutale 1-2 cm.
- >105 cm : jaune rosé (7,5 YR 6,5/8) sableux faiblement argileux ; structure très massive à débit très facile, plan à très faiblement mamelonné ; cohésion très faible ; porosité interstitielle non visible, tubulaire fine bien développée, biologique absente ; enracinement fin présent, passage de racines moyennes ou grosses verticales.

Comme à TATKI, le couvert végétal est de type steppe arbustive, mais la densité des herbacés était en fin de saison sèche, à TESSEKRE, nettement plus dense. La disparité de la pluviométrie de 1980 entre les deux forages (144 mm à TATKI, 382 mm à TESSEKRE) pourtant distants d'une cinquantaine de kilomètres seulement, est très probablement la cause principale de cette différence de couvert herbacé.

## A - Définition et description des zones concentriques d'influence du forage

Comme à TATKI, quatre couronnes principales ont pu être distinguées :

### 1) Km 4 - Km 7 : Milieu naturel peu perturbé

La principale caractéristique de ce milieu est son homogénéité : la quasi-totalité de la surface des sols est constituée de la succession suivante de microhorizons :

- 0 - 1 mm : discontinu, sables assez grossiers déliés, associés aux débris végétaux, non solidaire du microhorizon suivant.
- 1 - 2 mm : discontinu, sables plus fins non déliés mais très fragiles, sans porosité vésiculaire, sec : jaune (7,5 YR 7/6), humide : brun jaunâtre (7,5 YR 5/6).
- 2 - 3 mm : continu, sables fins et particules fines, structure pelliculaire, sans porosité visible, très fragile, sec : gris brunâtre clair (7,5 YR 6/2), humide ; brun grisâtre foncé (7,5 YR 4/2) faiblement solidaire de l'horizon sous-jacent.
- 3 - 50 mm : continu, sables fins et moyens, structure cubique peu nette et localisée, très meuble et très fragile, poreux, sec : brun pâle (7,5 YR 6/3), humide : brun (7,5 YR 4/3), activité biologique, non solidaire de l'horizon suivant.
- 50 - 100 mm : continu, sables fins et moyens, structure massive, et + sans pellicule au sommet, peu meuble, poreux, sec : brun jaunâtre clair (7,5 YR 6/4), humide : brun jaunâtre foncé (7,5 YR 4/4).

Les zones nues pelliculaires ne représentent que 5% de la surface totale et correspondant pour la plupart à d'anciennes termitières de *Bellicositermes bellicosus*. LEPAGE (1972) distingue trois stades d'évolution de ces termitières, aisément reconnaissables dans ce type de paysage :

1. le modelé de la termitière reste important malgré des traces d'érosion hydrique
2. il ne subsiste plus qu'un dôme plus ou moins accentué
3. l'emplacement d'une ancienne termitière ne se signale plus que par une zone plane ou légèrement bombée, circulaire ou elliptique ; une simple fouille permet de retrouver les structures caractéristiques d'un ancien nid : vestiges de chambres à meules, texture argileuse, etc...

Cette couronne, bien que très peu perturbée, présente cependant quelques indices d'exploitation pastorale comme la présence de quelques lignes de piétinement radial et des marques de piétinement aléatoire.

2) Km 1,5 - 4 : couronne de piétinement radial

La différence la plus marquante avec la couronne précédente est la densification des lignes de piétinement radial qui peuvent représenter jusqu'à 40% de la surface. Comme à TATKI, les formations herbacées sur sables se réduisent à des îlots allongés radialement dont la largeur diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche du forage.

3) Km 0,5 - 1,5 : couronne d'éolisation marquée

Alors que le piétinement radial reste très important de nombreux signes de mobilisation des sables apparaissent sur cette couronne : ensablement des branches mortes et des arbustes (*Leptadania pyrotechnica* - Forsk. Decne), microdunes de 2 cm de haute, recouvrement d'anciennes termitières par des épandages de sables éolisés, ségrégation superficielle des sables, etc...

4) Km 0 - 0,5 : cercle d'ensablement généralisé

Les caractères de cette zone sont très voisins du cercle correspondant de TATKI :

- . la totalité de la surface est piétinée et dépourvue de couvert herbacé,
- . un premier horizon très bouillant d'une dizaine de centimètres et très riche en déjections animales recouvre, avec une transition brutale, un horizon assez cohérent et peu poreux,
- . les teneurs en déjections sont particulièrement importantes dans un cercle d'une dizaine de mètres autour du point d'abreuvement,
- . les traces d'éolisation sont ténues, voire inexistantes : il n'existe, par exemple, aucune accumulation sableuse contre les murs des bâtiments administratifs.

Il est utile également de signaler l'absence :

- de lignes de piétinement radial
- de termitières épigées et d'autres indices d'activités biologiques.

Les principales observations réalisées sur les différentes zones concentriques de ce forage peuvent être résumées sur le tableau suivant : (cf. signification des symboles - tabl. N° 2 ).

Km	Termitières épigées	Surfaces nues d'anciennes termitières	Surfaces sableuses pelliculaires	Epandages sableux éolisés	Piétinement	
					Radial	Aléatoire
4 - 6	*	I	IIII	-	I	I
1,5 - 4	*	I	III	I	II	II
0,5 - 1,5	*	-	-	IIII	III	II
0 - 0,5	-	-	-	-	-	IIII

Tableau N° 3 : Caractérisation schématique des types de surfaces des couronnes d'influence du forage de TESSEKRE.

## B - Résultat des mesures

Seules des mesures de densité apparente ont été entreprises pour ce forage. Comme à TATKI, l'horizon situé sous l'épandage sableux subit un tassement aux abords du point d'abreuvement mais l'augmentation de la densité apparente (de 1,50 à 1,63) est moins sensible à TESSEKRE (fig. n° 7).

### 3.3. REVANE

Le forage de REVANE a été mis en service en 1957, à proximité de l'ancien puits traditionnel de NDIAYENE. Cette région appartient au "Ferlo cuirassé".

Le seul pare-feu permettant l'étude d'un transect radial sur plateau cuirassé gravillonnaire est celui qui relie REVANE à GUEYE KADAR. Le forage, et ses abords est situé sur une dune relique de l'erg récent plaquée sur ce plateau.

Sur le plateau, les sols ferrugineux sont peu épais : (profil situé au Nord de DODJI - description BARRETO *in* VALENZA et DIALLO, 1972).

- 0 - 20 cm : horizon humifère sableux (sable fin et moyen) faiblement argileux ;
- 20 - 40 cm : horizon éclairci plus rougeâtre, nettement plus argileux (sablo-argileux à argilo-sableux) plus compact ayant une porosité tubulaire faunistique ainsi qu'une structure polyédrique moyenne assez bien développée ; la cohésion est plus forte ; cet horizon repose sur la cuirasse démantelée et surmonté d'une couche de gravillons.

Le relief nettement plus marqué que dans le "Ferlo Sableux" rend plus ardue l'utilisation de la méthode utilisée jusqu'ici. Pour mettre en évidence l'effet de la charge pastorale tout en tenant compte de la topographie, nous avons tenté de comparer non seulement des points d'études mais également des versants.

L'hétérogénéité du milieu nous conduit donc à présenter très sommairement les formes observées le long du transect radial :

- 0 - 0,8 km : erg récent entaillé d'un marigot (à 200 m du forage); une profonde ravine (1,20 m) s'est creusée au contact de cette formation dunaire et du versant du plateau cuirassé.
- 0,8 - 2,5 km : versant ascendant du plateau cuirassé, pente moyenne 1,5%.
- 2,5 - 5,5 km : surface à pentes longitudinales faibles et irrégulières.
- 5,5 - 9,0 km : versant descendant du plateau cuirassé, pente moyenne 1,5%, au km 9 : marigot.

Nous avons éliminé de notre étude la zone 5,5 km, dont la pente latérale constitue un facteur d'évolution des surfaces de sols, prépondérant par rapport à la distance au forage. Ainsi trois zones ont été retenues pour cette étude : la couronne sableuse du point d'abreuvement, un premier versant proche du forage, un second plus éloigné.

Le plateau et ses versants sont (étaient...) couverts d'un peuplement quasi-mono-spécifique de *Pterocarpus lucens* constituant une forêt basse.

La pluviométrie de 1980 a été de 346 mm (285 mm en 1979) alors que les moyennes de Matam et Linguère sont respectivement de 482 mm (1922-1979) et de 477 mm (1934-1979) (tabl. N° 1).

### Description des zones étudiées

#### 1) Versant éloigné : milieu naturel peu perturbé

La végétation ligneuse est toujours en place en dépit de la mort de nombreux individus tandis que le couvert herbacé est très clairsemé. La quasi-totalité de la surface est constituée d'une pellicule fine composée de sables fins et de particules fines (argile et limons). Les placages de récolte des termites semblent associer à une fragmentation de la pellicule, ce phénomène s'intensifiant de l'amont vers l'aval. Ces placages sont d'autant plus abondants que les résidus végétaux de surface (feuilles, tiges mortes de graminées etc...) sont denses ; leur rôle sur l'infiltration ne doit pas être négligeable.

Sur l'ensemble du versant existent des traces d'érosion hydrique en nappe qui pour être discrètes n'en sont pas moins symptomatiques.

Le piétinement radial, important en amont (km 6) diminue très nettement vers l'aval (km 8).

#### 2) Versant proche : dégradation des sols

##### Amont : Km 2,0

Des bouquets de 50 à 400 m<sup>2</sup> couvrent environ 40% de la surface qui partout ailleurs reste nue (absence d'arbres et de graminées). Une pellicule semblable à celle du versant éloigné couvre toutes les surfaces nues ; sous les bosquets l'activité biologique associée aux résidus végétaux assure une certaine rugosité et une porosité plus marquée.

Le piétinement est peu sensible, par contre l'érosion hydrique est nettement perceptible sur les surfaces nues où le ruissellement en nappe provoque la formation de "marches d'escalier". Environ 5% de la surface totale est affectée par l'érosion linéaire dont témoigne l'existence de ravines.

##### Mi-pente : Km 1,5

Vers l'aval, le versant est dépourvu de végétation ligneuse ; la plupart des arbres morts (99% si l'on se réfère aux photos-aériennes de 1954 et de 1978 - De WISPELAERE, 1980) ayant eux-mêmes disparu. Quelques graminées, qui n'ont pas semble-t-il atteint leur maturité, se localisent aux recouvrements sableux.

30% de la surface totale est couverte de placages sableux de 100 à 200 m<sup>2</sup>, épais de 10 à 15 cm. Il s'agit vraisemblablement de sables relictuels de l'erg récent dont la limite, toute proche, remontait naguère plus haut sur le versant.

L'horizon rouge compact (cf. description pédologique), dépourvu de pellicule, affleure sur environ 60% de la surface totale, 10% étant affectés par l'érosion linéaire. Les ravines (15 cm de profondeur - 1 m de large) sont encombrées sur une épaisseur de 5 cm de sables très éolisés.

#### Aval : Km 1,0

Les placages sableux se réduisent ici à des micro-buttes de 5 à 20 m<sup>2</sup>, 30 cm de haut et allongées dans le sens de la pente. Elles ne couvrent que 15% environ de la surface totale et présentent des signes d'éolisation.

L'horizon rouge découpé par l'érosion en nappe est partiellement couvert de gravillons et constitue 75% de la surface totale.

L'érosion linéaire (10% de la surface totale) est nettement plus concentrée qu'à mi-pente avec des ravines de 30 cm de profondeur et de 1,50 m de large, tapissées de sables éolisés (épaisseur : 10 cm). La dégradation de ce versant ne doit pas être très récente car certains arbres situés dans des ravines ne présentent pas de signes de déchaussement.

### 3) Erg récent : éolisation et piétinement

Nous distinguerons deux couronnes :

0,2 - 0,8 km : cette zone est presque totalement cultivée en mil. La surface est fortement éolisée (micro-dunes de 1 cm de haut et 7 cm de large) ; elle est constituée des micro-horizons suivants :

- 0 - 1 mm : sous les sables déliés des micro-dunes d'éolisation, continu, pelliculaire, sableux, très fragile, peu poreux, sec : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6) humide : brun vif (7,5 YR 4/6), solidaire du micro-horizon sous-jacent.
- 1 - 40 mm : continu, sableux, structure polyédrique émoussée, grossière et peu nette, très poreux, contenant de très nombreux résidus végétaux, sec ; jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6), humide : brun vif (7,5 YR 4/6), non solidaire de l'horizon suivant.
- 40 - 100 mm : continu, sables fins, massif, assez cohérent, sec : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6), humide : brun vif (7,5 YR 4/6).

En dépit d'une pente de 1,8% en direction du marigot, aucune trace d'érosion hydrique n'a été relevée. Seule l'éolisation y semble active et doit être mise au compte non seulement du piétinement qui se concentre dans les passages inter-clôtures, mais aussi à l'abattage de nombreux arbres sur les champs.

0,0 - 0,2 km : les abords immédiats du point d'abreuvement s'apparentent à ceux décrits dans le "Ferlo sableux" :

- . absence de termitière et de signe d'éolisation
- . surface totalement piétinée constituée d'un horizon sableux boulant (ici peu épais : 5 cm) contenant de nombreux débris de déjections et recouvrant un horizon sableux cohérent.

## DISCUSSION ET CONCLUSIONS PROVISOIRES

La question concernant la désertification des zones sub-arides africaines ne date pas d'une époque récente puisque de nombreux auteurs l'ont déjà abordée bien avant la période de sécheresse de cette dernière décennie (HUBERT 1920 ; STEBBING 1935 ; AUBREVILLE 1949 ; MONOD 1950 ; PELISSIER 1951, etc...). Il semble de plus en plus certain que si les facteurs climatiques jouent un rôle important, l'homme lui-même peut être considéré comme l'un des agents les plus actifs de dégradation du milieu (MICHON 1973, DELWAULLE 1973, LEPRUN 1978...). Pour de nombreux auteurs (BOUDET 1972, MOTT et al., 1979) les dommages imputables au bétail seraient importants, voire catastrophiques (BOUGERE 1979). La présente étude apporte quelques nuances à ces affirmations en insistant sur les conditions édaphiques qui prédisposent aux différents types d'évolution, les formations sur ergs et sur cuirasse constituant des milieux pédologiques très contrastés.

### Le "Ferlo Sableux"

L'existence de taches nues pelliculaires dans les couvertures sableuses est souvent présentée comme caractéristique d'une dégradation liée au bétail (BOUDET 1972, BOUGERE 1979). D'après nos observations, ce type d'organisation serait plutôt favorisé par la présence d'éléments fins dans l'horizon superficiel puisqu'il apparaît préférentiellement dans les couloirs interdunaires (TESSEKRE) et sur les sables légèrement argileux (TATKI) et non par le piétinement ou quelque autre effet du bétail. En effet au fur et à mesure que l'on se rapproche d'un forage, et donc que la densité de piétinement augmente, plus ces taches se couvrent d'un épandage sableux, pour disparaître complètement aux abords des points d'abreuvement. A contrario, dans les périmètres mis en défens, non seulement les zones nues pelliculaires subsistent mais elles semblent même se développer. Elles ne résulteraient donc pas d'une forte charge pastorale mais plutôt des conditions de milieu (instabilité structurale, ségrégation des sables et des éléments fins etc...).

La mise en service des forages a cependant induit une évolution indéniable de la surface des sols :

- . les abords des points d'abreuvement (couronne d'1 km environ) présentent une couverture sableuse continue qui malgré son aspect dépouillé n'en est pas moins fertile. Comme le souligne BOUDET (1972), cette "désertification" n'est qu'apparente et

ne correspond qu'à une récolte du stock de pailles si la pâture n'est intervenue qu'en saison sèche (après la récolte de céréales en août, la Beauce n'a jamais été comparée à un désert)". S'il est hardi d'évoquer une grande région céréalière à propos des abords des forages, il n'en demeure pas moins vrai qu'ils présentent, en fin de saison sèche, les caractères d'un lit de semences convenables : forte porosité, infiltrabilité élevée, absence de risque de battance, abondance de l'azote... Ces observations sont corroborées par celles des agrostologues qui notent une forte production de graminées appréciées dans cette zone (VALENZA, communication orale).

- dans la deuxième couronne (Km 1 - Km 2), la mobilisation des sables apparaît comme le phénomène majeur, mais elle semble plus associée à l'abattage des arbres (généralement peu touchés dans la zone de pacage) qu'au piétinement du bétail. Les analyses permettront de préciser l'importance de l'appauvrissement en particules fines (argile, limons) provoqué par l'action éolienne. Notons que cette évolution des surfaces ne correspond pas toujours à une dégradation marquée. Travaillant dans la région du Gourma au Mali, LEPRUN (1978) notait en effet que "plus la déflation éolienne de saison sèche, remettant les sables en mouvement, est importante, plus la végétation herbacée aura de possibilités de se développer à l'hivernage suivant". Il faudrait cependant ajouter que la suppression des espèces ligneuses dans cette zone peut s'avérer à terme préjudiciable pour le bétail lui-même (absence d'ombre, etc...).

Pour les différents sites étudiés du Ferlo Sableux, les principaux indices d'érosion hydrique ont été relevés sur les champs de mil et dans les périmètres de mise en défens. Rappelons que le ruissellement en nappe est un phénomène naturel qui permet d'alimenter en eau les très nombreuses mares temporaires d'hivernage qui occupent les petites dépressions colmatées par les éléments fins érodés. Le piétinement qui favorise l'ensablement, non seulement n'accélérerait pas le phénomène comme c'est le cas pour d'autres milieux (GIFFORD et HAWKINS, 1978), mais aurait tendance à la ralentir voire à le stopper. Ce résultat est d'ailleurs à rapprocher des stocks d'eau importants qui se maintiennent en fin de saison sèche et témoignent d'une infiltrabilité élevée et d'une faible évaporation (effet de mulch) dans la zone la plus piétinée.

En première analyse, l'exploitation pastorale du Ferlo sableux ne paraît donc pas induire une dégradation alarmante des sols.

### Le "Ferlo cuirassé"

Les différentes caractéristiques du milieu cuirassé lui confèrent une forte sensibilité vis-à-vis de l'érosion hydrique :

- la pluviométrie, et donc l'agressivité climatique, sont nettement plus importantes que dans le Ferlo Sableux, (en 1980, il est tombé par exemple 2,4 fois plus d'eau à REVANE qu'à TATKI) ;
- le relief y est également plus marqué (pentes plus fortes et surtout plus longues) ;
- les sols sont fragiles à plus d'un titre :

- . la texture de leur horizon superficiel les classe parmi les plus érodibles (sables fins et limons grossiers),
  - . peu profonds sur cuirasse, ils ne peuvent se régénérer naturellement que très difficilement (contrairement aux sols développés sur des formations sableuses épaisses) ;
- le couvert végétal, naguère dense, ne semble plus de nos jours remplir sa fonction protectrice vis-à-vis des sols. La mortalité des ligneux est extrêmement élevée et, pour REVANE, la capacité de charge de bétail calculée à partir de la productivité des parcours serait dépassée. Alors qu'un bovin peut se contenter en saison sèche de 11,6 ha à TESSEKRE, il lui faudrait au moins 51,6 ha à REVANE (BOUDET, 1980), alors qu'il n'en dispose en fait que de 22,6 ha (MEYER, 1980). Ces chiffres illustrent à la fois la pauvreté des parcours et leur tendance au surpâturage.

Il est probable en outre que le dépérissement végétal s'auto-accélère : compte-tenu de la faible stabilité structurale des horizons superficiels, une dénudation progressive s'accompagne de la formation de pellicules qui limitent considérablement l'infiltration et favorise l'érosion hydrique. Ce simple phénomène suffit à réduire considérablement les réserves en eau du sol et provoque dès lors une diminution du couvert végétal.

Heureusement, ces processus ne sont pas toujours irréversibles : nous avons vu que les placages de récolte des termites assurent une porosité superficielle propre à favoriser l'infiltration, plusieurs auteurs (DEPIERRE et GILLET, 1971 ; LEPRUN, 1979) ont, de plus, attiré l'attention sur l'étonnant pouvoir de régénération de la végétation sahélienne.

L'examen des photos aériennes prises en 1954 et en 1978 au-dessus de REVANE (de WISPELAERE, 1980) révèlent toutefois l'ampleur de l'évolution du milieu au cours de cette période. Comment distinguer les effets du bétail (mise en service du forage en 1957) de ceux de la sécheresse de la dernière décennie? L'ensemble de la zone a souffert des effets de la sécheresse : le déclin du couvert végétal a provoqué partout un ruissellement qui a alimenté les nappes des cours d'eau temporaires ; ainsi la végétation ligneuse s'est concentrée principalement le long des voies d'eau. Ce phénomène général n'est pas lié à la présence d'un forage. Il est indéniable, par contre, que cette évolution s'est vue accélérée sous l'effet du bétail. Outre les données mettant en évidence la surcharge pastorale de cette zone, l'analyse des images de satellite (de WISPELAERE, 1980), révèle nettement la liaison existant entre la présence de zones dénudées et la proximité d'un forage ou d'un village.

Si les effets du bétail sont souvent néfastes pour les sols des zones sub-arides (THOMPSON 1968, GIFFORD et HAWKINS 1978 etc...) leur dégradation ne semble ni systématique (cf. "Ferlo Sableux"), ni inéluctable : une saine gestion des parcours s'appuyant sur des données agrostologiques et édaphiques devrait permettre une protection du milieu compatible avec son exploitation pastorale.

La prochaine mission, prévue en novembre 1981, apportera des données concernant la dynamique d'évolution des organisations superficielles au cours d'une saison des pluies. Une étude plus approfondie des sols pourraient également être entreprise à cette époque.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE, A., 1949.  
Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale.  
Soc. Edit. Géog. Marit et Col.  
Paris, 351 p.
- BILLE, J.C., LEPAGE, M. et POUPON, H., 1972.  
Présentation de la zone d'étude de Fété-Olé (Sénégal).  
ORSTOM, Dakar, ronéo, 54 p., 22 fig., 15 réf.
- BILLE, J.C., LEPAGE, M., MOREL, G. et POUPON, H., 1972.  
Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo  
septentrional, Sénégal : présentation de la région.  
La Terre et la Vie, 26 : 332-350, 11 fig., 12 réf.
- BOUDET, G., 1972.  
Désertification de l'Afrique Tropicale sèche.  
ADANSONIA, sér. 2 : 12 (4) : 505-524, 3 tabl., 8 fig.,  
18 réf.
- BOUDET, G., 1980.  
Etude des systèmes de production d'élevage au Sénégal.  
Etude du couvert herbacé, 1ère campagne.  
Maison Alfort, IEMVT/DGRST, Acc. LAT, 48 p., 18 réf.
- BOUGERE, J., 1979.  
L'état de dégradation des formations sableuses du sahel  
voltaïque ou l'urgence d'une intervention.  
Trav. de l'Inst. de Géogr. de Reims, 39-40 : 91-101,  
4 tabl., 5 photos, 4 réf.
- B.R.G.M., 1962.  
Carte géologique du Sénégal au 1/500.000 4 feuilles.  
Notice, 36 p.,  
Serv. Mines Géol., Rép. du Sénégal.
- COLLINET, J. et VALENTIN, C., 1979.  
Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydro-  
dynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applica-  
tions agronomiques.  
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 17 (4) : 283-328, 16 tabl.,  
26 fig., 2 pl., 1 carte, 27 réf.
- COLLINET, J., VALENTIN C., CHEVALLIER, P. et SICOT, M., 1980.  
Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes  
et subdésertiques. Première opération "Mare d'Oursi",  
LAT, ORSTOM/DGRST, Abidjan, 14 p., 15 fig., 5 tabl.
- CORNET, A. et POUPON, H., 1978.  
Description des facteurs du milieu et de la végétation  
dans cinq parcelles situées le long d'un gradient clima-  
tique en zone sahélienne au Sénégal.  
Bull. de l'I.F.A.N., 39, sér. A, (2) : 242-302 + annexes,  
12 fig., 24 réf.
- DELWAULLE, J.C., 1973.  
Désertification au sud du sahara.  
Bois et Forêts des Tropiques, 149 : 3-20.

- DEPIERRE, D. et GILLET, H., 1971.  
 Désertification de la zone sahélienne.  
Bois et Forêts des Tropiques, 139 : 3-25.
- FELLER, C. et MERCKY, P., 1975.  
 Etude des pâturages du Ferlo-Boundou. Etude pédologique  
 ORSTOM/ISRA, Dakar, 118 p. + annexes, 16 réf., 1 carte  
 à 1/200.000.
- GIFFORD, G.F. et HAWKINS, R.H., 1978.  
 Hydrologic impact of grazing on infiltration : a critical  
 review.  
Wat. Res. Res. 14 (2) : 305-313, 3 tabl., 5 fig., 37 réf.
- HUBERT, H., 1920.  
 Le dessèchement progressif en Afrique occidentale.  
 Bull. Comité Et. Hist. et Scient. de l'A.O.F., Dakar.
- LEPAGE, M., 1972.  
 Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo  
 septentrional, Sénégal. Données préliminaires sur l'écologie  
 des termites.  
La Terre et la Vie, 28 : 383-409, 11 tabl., 7 fig.,  
 3 photos, 33 réf.
- LEPRUN, J.C., 1971.  
 Nouvelles observations sur les formations dunaires sableu-  
 ses fixées du Ferlo Nord occidental.  
 Ass. Sénégal. Et. Quatern. Ouest afr.. Bull. liaison 31 :  
 69-78.
- LEPRUN, J.C., 1977.  
 Compte-rendu de fin d'Etudes sur les sols et leur suscep-  
 tibilité à l'érosion, les terres de cures salées, les  
 formations de "brousse tigrée" dans le GOURMA.  
 ORSTOM/DGRST, LAT., Paris, 45 p., 8 tabl., 13 fig.,  
 6 photos, 34 réf.
- LEPRUN, J.C., 1978.  
 Etude de l'évolution d'un système d'exploitation sahé-  
 lien au Mali : Volet Pédologiques, rapport de campagne  
 1979. ORSTOM/DGRST, LAT, Paris, 27 p., 7 fig., 18 photos,  
 9 réf.
- MAIGNIEN, R., 1965.  
 Carte pédologique du Sénégal au 1/1.000.000.  
 ORSTOM, Dakar, 1 coupure.
- MEYER, J.F., 1980.  
 Etude des systèmes de production d'élevage au Sénégal,  
 volet zoo-économie, rapport préliminaire.  
 Maison-Alfort, IEMVT/DGRST, ACC-LAT, 24 p., 23 tabl.
- MICHEL, P., 1969.  
 Les bassins du fleuve Sénégal et Gambie. Etude géomorpho-  
 logique.  
 Th. Doc. es lettres. Strasbourg, 3 tomes. 1167 p.

- MICHON, P., 1973.  
Le sahara avance-t-il vers le Sud ?  
Bois et Forêts des Tropiques, n° 150 : 3-14.
- MONOD, T., 1950.  
Autour du problème du dessèchement africain.  
Bull. I.F.A.N., 12 (2) : 514-523.
- MOTT, J., BRIDGE, B.J. et LATE W. ARNDT, 1979.  
Soil Seals in Tropical tall grass pastures of Northern  
Australia.  
Austr. J. Soil. Res. 30 : 483-494, 4 tabl. 3 fig.,  
42 réf.
- PELISSIER, P., 1951  
Sur la désertification des territoires septentrionaux de  
l'A.O.F.  
Cah. d'Outre-Mer, 4 : 80-85.
- POUPON, H. et BILLET, J.C., 1974.  
Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo  
septentrional, Sérégal. Influence de la sécheresse sur la  
strate ligneuse.  
La Terre et la Vie, 28 : 49-75.
- STEBBING, E.P., 1935.  
The encroaching Sahara. The threat of the west African  
colonies.  
Geogr. Jour . 85, London.
- THOMPSON, J.R., 1968.  
Effect of grazing on infiltration in a western watershed.  
J. Soil & Water Cons. 23 : 63-65, 1 tabl., 4 fig., 5 réf.
- VALENTIN, C., 1981.  
Esquisse à 1/25.000 des différenciations morpho-structu-  
rales de la surface des sols d'un petit bassin versant  
sahélien (Polaka-Dursi, Nord Haute-Volta),  
ORSTOM, Abidjan, 11 p., 1 fig., 1 carte, 7 réf.
- VALENZA, J. et DIALLO, A.K., 1972.  
Etude des pâturages naturels du Nord Sénégal.  
IEMVT, Maison-Alfort, Etude Agrostologique N° 34, 311 p.,  
1 carte couleur, 3 coupures à 1/200.000.
- WISPELAERE, D. de, 1980.  
Etude et cartographie de l'évolution de la végétation par  
télédétection. Rapport de 1ère année.  
IEMVT/DGRST, Maison-Alfort, 162 p., 23 fig., 19 réf.