

RÉPUBLIQUE DU NIGER

Ministère de l'Économie Rurale  
Service du Génie Rural.

G. BOCQUIER et M. GAVAUD

Février 1964

# ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DU NIGER ORIENTAL

RAPPORT GÉNÉRAL

Édition provisoire

TOME I



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER



CENTRE DE RECHERCHES PEDOLOGIQUES DE HANN-DAKAR

# S O M M A I R E

	<u>PAGES</u>
INTRODUCTION. . . . .	1
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE . . . . .	3
IIA. LE CLIMAT.....	4
IIAI GENERALITE.....	4
IIA2 LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES.....	5
A 21 Les températures.....	5
A22 Les précipitations.....	8
A23 L'état hygrométrique de l'air.....	12
A24 Les vents et les phénomènes associés.....	13
IIA3 LES EQUILIBRES PLUVIOTHERMIQUES ET LES INDICES CLIMATIQUES D'ARIDITE ET DE DRAINAGE.....	14
A3-I Evaporation : évapotranspiration potentielle et drainage des sols.....	14
A32 Indices climatiques d'aridité et de drainage.....	18
IIA-4 LE CLIMAT CONSIDERE COMME FACTEUR DE PEDOGENESE ET DE MORPHO- GENESE.....	18
A41 Pluviométrie et drainage.....	19
A42 Climat, désagrégation et altération.....	19
A43 Pluviométrie, Ecoulement et ruissellement.Erosion hydrique	20
A44 Le vent et l'érosion éolienne.....	22
IIA5 LES VARIATIONS CLIMATIQUES ANCIENNES.....	23
IIB LES ROCHES MERES ET LES MATERIAUX ORIGINELS DES SOLS.....	23
IIB1 STRATIGRAPHIE ET PRINCIPALES FORMATIONS GEOLOGIQUES DU NIGER ORIENTAL.....	23
IIB2 LES MATERIAUX ORIGINELS DES SOLS AU NIGER ORIENTAL.....	28
B2I Généralités.....	28
B22 Les matériaux sableux.....	29
B23 Propriétés analytiques des matériaux originels.....	35
B24 Les nappes phréatiques et les sels atmosphériques.....	41
IIC LE MODELE.....	48
IICI GENERALITES.....	48
IIC2 LA MORPHOLOGIE DES MASSIFS DE BORDURE ET LES CYCLES DE CUIRASSEMENT.....	49

IIC3 LES ACCUMULATIONS SABLEUSES ET LES FORMES DUNAIRES.....	54
C3I Les ergs anciens transversaux et les formes dunaires qui leur sont associées.....	55
C32 Les formes dunaires dans le secteur nigérien de la cuvette tchadienne.....	58
IID LES FACTEUR BIOLOGIQUES.....	64
IID1 LA VEGETATION.....	64
DII Répartition zonale de la végétation et principaux paysages végétaux.....	64
DI2 Formations végétales édaphiques et anthropiques.....	65
DI3 Données quantitatives.....	69
IID2 LA FAUNE ET LA FLORE DU SOL.....	70
IIE L'ACTION DE L'HOMME.....	73
IIE1 L'AGRICULTURE.....	73
EII LES CONDITIONS GENERALES.....	73
EI2 LES PRINCIPALES PRODUCTIONS AGRICOLES.....	75
IIE2 L'ELEVAGE.....	79

## I.- INTRODUCTION

L'étude des sols du Niger Oriental est la première des trois tranches prévues pour la reconnaissance générale des terres à vocation agricole ou pastorale de la République du Niger. Elle fut prévue dans le cadre général du "Programme d'Etudes Pédologiques" énoncé en Juillet 1960 par la mission BUGEAT, et fit l'objet de la Convention 6I/4/GR passée fin 1961 entre le Ministre de l'Economie Rurale de la République du Niger et le Directeur Général de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

Le but de cette étude était de "définir les types de sols, les possibilités agronomiques de chacun de ces types, l'ordre de grandeur de la superficie totale de chacun" et elle devait se concrétiser par un rapport et une carte. L'échelle initiale de cette dernière fut le 1/1.000.000°. Mais cette échelle ne fut pas conservée, car elle ne permettait pas de représenter avec suffisamment de précisions un certain nombre de petites unités de grand intérêt pratique.

Les travaux de terrain durèrent quatre mois, de Novembre 1961 à Mars 1962, et furent effectués par MM. BOCQUIER et GAVAUD. La description de 216 profils fut retenue. Les échantillons au nombre de 566, furent analysés par les Laboratoires du Centre de Pédologie de Hann, sous la direction de Mle. THOMANN, jusqu'en fin 1962. La carte fut dessinée sur le terrain sur des mosaïques de photographies aériennes au 1/200.000 de l'Institut Géographique National (Paris), puis reportée mécaniquement sur un fonds au 1/500.000 confectionné par nos soins en utilisant une projection et les minutes de restitution photographique de la carte régulière au 1/200.000 délivrés par l'Institut Géographique de DAKAR. La maquette fut achevée fin Juin 1962, la légende définitive fin 1962 et son impression en couleurs, réalisée par les soins du Service Cartographique de l'O.R.S.T.O.M., achevée fin Janvier 1964. La rédaction du rapport ne put commencer qu'en Septembre 1962 (congé de M. BOCQUIER, prospection et carte de l'Ader Douchi), fut interrompue en Décembre 1962 par la campagne de prospection au Niger Central, reprise par M. GAVAUD, (le Chef de mission, M. BOCQUIER, ayant été appelé à d'autres fonctions), en Mars et Avril 1964, interrompue de nouveau en Mai pour dresser la maquette du Niger Central, poursuivie à mi-temps pendant un congé en France de Juin à Décembre 1963, puis achevée dans ses grandes lignes

Le présent rapport comprend deux tomes et une annexe, le premier tome traite du milieu naturel envisagé dans une optique pédologique et agronomique. Le second est formé par l'étude monographique des sols, et traite de la morphologie, des propriétés analytiques, de la répartition et de l'utilisation pratique des différentes unités. L'annexe rassemble les profils et les analyses cités dans le texte (la totalité représenterai un bloc de 800 pages) et le détail des techniques et méthodes employées.

0  
0 0  
0

## I.- SITUATION GEOGRAPHIQUE

La carte pédologique présentée correspond à la partie méridionale du NIGER Oriental, représentant elle-même un secteur de la cuvette Tchadienne.

Les limites de cette étude sont :

- Au Sud : la frontière avec la fédération du NIGERIA
- A l'Est : le lac TCHAD
- A l'Ouest : le méridien 8° 20' Est
- Au Nord : le parallèle 15° N dans la région de TANOUT  
le parallèle 14° N au centre  
le parallèle 14° 30' N dans la région de N'GUIGMI.

Administrativement, cette partie orientale de la République du NIGER comprend les circonscriptions de ZINDER, NATAMEYE, MAGARIA, TANOUT, GOURE, MAINE-SOROA et N'GUIGMI.

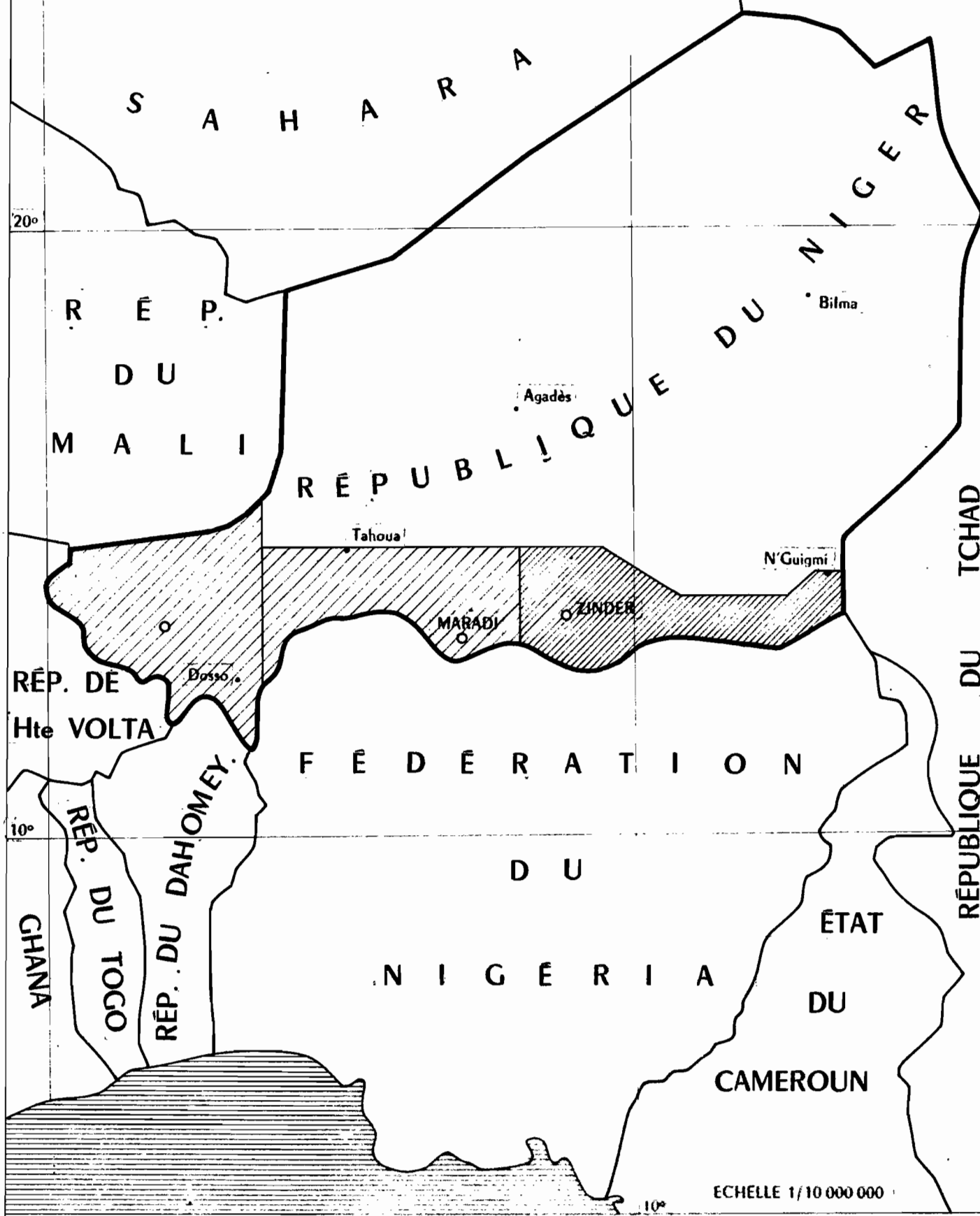
Les principales unités naturelles la composant (Planche 2) sont les suivantes (LEMAITRE 1949 - PIRARD 1961) :

Au Nord-Ouest le DAMERGOU représenté dans la région de TANOUT par un plateau cuirassé drainé vers l'Ouest par les vallées du GOULBI N'KABA et de TARKA.

Au centre, quatre massifs alignés SO/NE séparent le bassin versant du NIGER de celui de la cuvette Tchadienne. Ce sont :

- le massif gréseux de KORGOM
- le DAMAGRAM caractérisé par les chaos granitiques de la région de ZINDER, et les chaînons quartzitiques du centre du massif.
- le MOUNIO, formé d'affleurements de granite dans la région de GOURE.
- le massif gréseux du KOUTOUS.

# LOCALISATION DE LA CARTE PÉDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE LA RÉPUBLIQUE DU NIGER

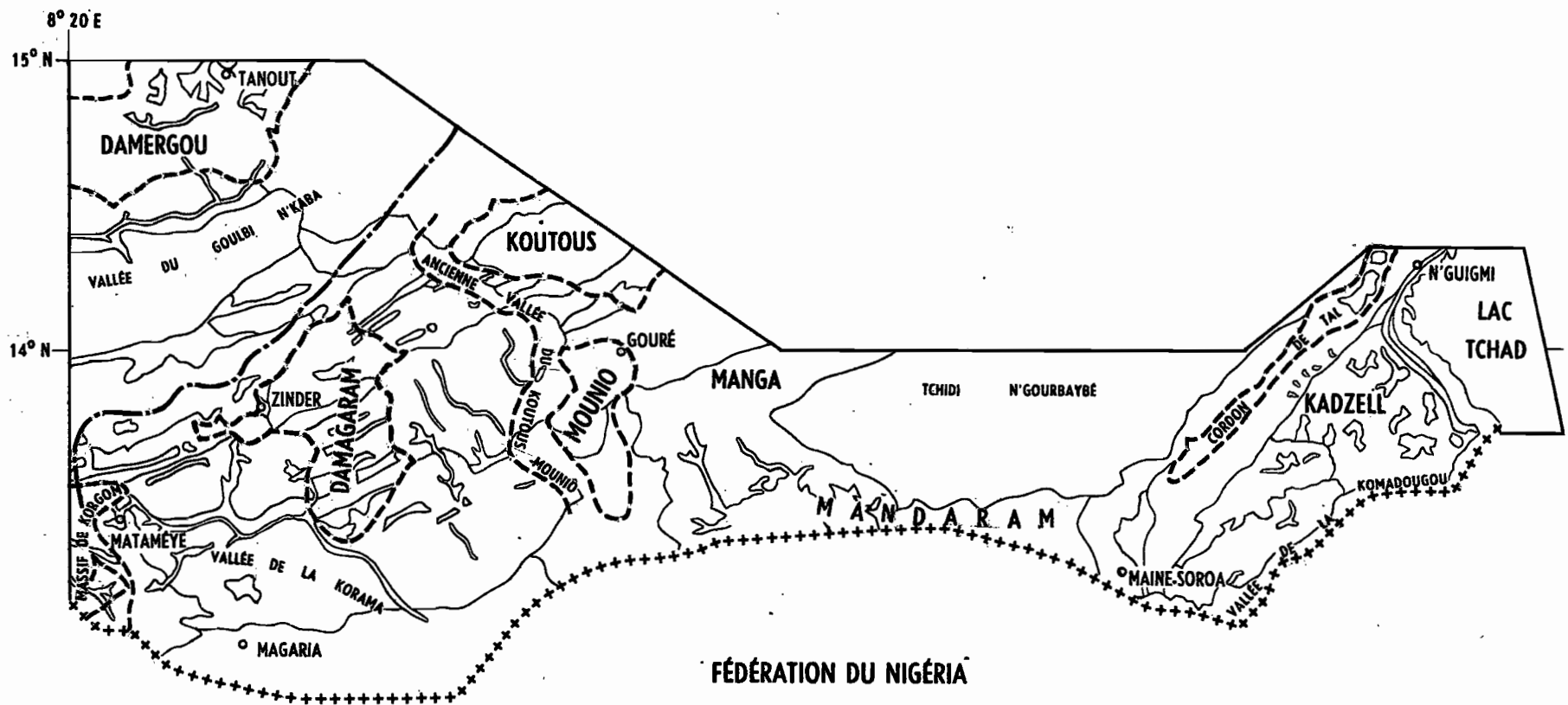


ECHELLE 1/10 000 000

# LIMITES DE L'ÉTUDE ET PRINCIPALES UNITÉS NATURELLES DU NIGER ORIENTAL

Fig. : 2

----- Limite des bassins versants du Niger et de la cuvette Tchadienne.





Au-delà de ces massifs s'étend vers l'Est la cuvette Tchadienne entièrement composée - hormis les alluvions argileuses du KADZELL - de formations sableuses présentant d'anciens modelés dunaires très variés. Trois ensembles peuvent être distingués :

- A l'Ouest, la bordure de la cuvette est parcourue par la vallée de la KORAMA et par un ensemble hydrographique correspondant à une ancienne vallée de bordure des massifs du KOUTOUS et du MOUNIO.

- Au centre, le MANGA se poursuivant vers l'Est par le TCHIDI N'GOURBAYBE puis le TIOLDE et au Sud, le MANDARAM (pays des salines).

- A l'Est, le cordon de TAL; de MAINE SOROA à N'GUIGMI, définit la limite occidentale du KADZELL que borde au Sud la vallée de la KOMADOU-GOU.

## II A. LE CLIMAT

### II A-1 . GENERALITES

Les climats du NIGER Oriental sont des variétés septentrionales des climats tropicaux. Ils sont caractérisés par :

- la succession d'une longue saison sèche en hiver et d'une courte saison des pluies en été; le passage d'une saison à l'autre étant régi par le déplacement de deux masses d'air : l'"harmattan", sec, venant du SAHARA et la "mousson", humide, provenant du golfe de Guinée.

- des températures généralement excessives, ainsi qu'une extrême siccité saisonnière de l'air.

La région étudiée, comprise entre les isohyètes 200mm et 620 mm est partagée suivant une ligne MAINE SOROA-GOURE, correspondant à l'isohyète 400mm, entre le climat Sahélo-Saharien au Nord et le climat Sahélo-Soudanais au Sud (planche 3). La première zone confine au Nord au domaine Saharien (200mm); la seconde débute au NIGER Oriental et n'y présente que

la partie septentrionale de son extension théorique, qui s'achève vers l'isohyète 1100mm (AUBREVILLE 1949).

On n'observe pas cependant de discontinuité dans les données climatiques intéressant ces deux zones et l'examen des renseignements météorologiques (tableau I) montre que la pluviométrie est la principale variable, sinon la seule en dehors de l'aire d'amélioration hygrométrique autour du lac TCHAD (station de N'GUIGMI).

## II A-2 LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES

### A2-1 LES TEMPERATURES

#### Variation annuelle

Dans toutes les stations, les valeurs moyennes de la température varient dans l'année selon un cycle passant par quatre valeurs extrêmes (Planche 3 Fig.3).

deux maxima : le premier, le plus élevé ( $33^{\circ}$  -  $32^{\circ}$ ), en Avril-Mai, en fin de saison sèche; le second en Octobre, en fin de saison des pluies, plus bas de 2 à 3 degrés.

deux minima : le plus accusé ( $22^{\circ}$  -  $23^{\circ}$ ) a lieu en Décembre-Janvier, en pleine saison sèche; le second ( $27^{\circ}$  -  $28^{\circ}$ ) se place toujours au mois d'Août en pleine saison des pluies.

Les valeurs extrêmes suivent une évolution parallèle. Ainsi dans l'année la période relativement fraîche de Décembre à Février contraste avec les rigueurs thermiques d'Avril-Mai; la saison des pluies apporte une faible amélioration qu'efface rapidement la pointe de Septembre-Octobre.

TABLEAU I

## LES PRINCIPALES GRANDEURS CLIMATIQUES DES STATIONS DU NIGER ORIENTAL (Annales FOM 1956)

	MARADI <sup>+</sup>	ZINDER	MAINE SOROA	N'GUIGMI
<u>Climat</u> (selon AUBREVILLE)	Sahélo-Soudanais	Sahélo-Soudanais	Sahélo-Soudanais Nord	Sahélo-Saharien Nord Variété du lac TCHAD
<u>Saisons thermiques</u> : 20° à 23° pendant les mois de :	NEANT	JANVIER	JANV-DEC	JANV-DEC
<u>Température</u> (Maximum mensuel)	32° 7 MAI	33,3° MAI	31,6° AVRIL	31,6° MAI
(Minimum mensuel)	23,5° JANV	22,8° JANV	22,9° DEC	21,4° JANV
(Amplitude)	9,2°	10,5°	8,7°	10,2°
(Moyenne)	28,2°	28,4°	28,0°	27,5°
(Maximum mensuel)	26,2° AOUT	25,5° AOUT	25,7 AOUT	25,9 AOUT
(Minimum mensuel)	6,7° FEV	6,9° JANV	6,2° JANV	7,8 JANV
(Amplitude)	19,5	18,6	19,5	18,1
(Moyenne)	16,1	15,0	15,3	16,6
(Maximum mensuel)	37,1 AVRIL	40,5 AVRIL	36,6 AVRIL	28,7 AVRIL
(Minimum mensuel)	8,8 AOUT	10,1 AOUT	9,8 AOUT	13,9 AOUT
(Amplitude)	28,3	30,4	26,8	14,8
(Moyenne)	22,2	24,1	23,0	20,7
(nb de mois à moins de 30 mm)	6	8	8	10
(nb de mois à plus de 100 mm)	3	2	2	1
(normale pluviométrique)	623 mm	531,8mm	417mm	212 mm

+ NOTE : MARADI, station voisine du NIGER Oriental, peut en représenter le type climatique le plus méridional.

Variation géographique :

On peut mettre en évidence (Planche 3 Fig.4), un abaissement des températures moyennes maxima et minima, vers le Nord; cet effet est surtout sensible de Novembre à Avril, c'est-à-dire pendant la saison sèche et relativement fraîche. Les moyennes annuelles s'en ressentent toutefois très peu, passant de 28°2 à 27°5; de même l'amplitude thermique annuelle s'écarte peu du chiffre de 10°. L'uniformité du régime annuel et les valeurs excessives de la température se conjuguent pour n'en faire qu'un facteur de variation secondaire au NIGER Oriental.

Températures du sol

Nous ne disposons que des données de la station de Zinder. Les grandeurs mesurées sont les températures du sol à 30 et 60 cm de profondeur; la température en surface n'est pas relevée, elle est remplacée par la "température au sol", lue sur un thermomètre placé à 10 cm au-dessus du sol.

Ce dernier chiffre caractérise l'ambiance actinothermique régnant immédiatement au-dessus du sol. Il suit le même cycle annuel que la température de l'air, avec un décalage positif moyen de 3° environ. L'amplitude de la variation annuelle est également plus élevée de 2 à 3° C. Il accuse de même plus fortement les extrêmes de la variation diurne :

Valeurs extrêmes absolues pour la période 1953-1960 à ZINDER		
	Température de l'air	"Température au sol"
minima	8° C	4° C
maxima	44,3° C	59,7° C

De même les températures mensuelles du sol, prises à 30 cm et 60 cm de profondeur, suivent fidèlement le cycle annuel de la température de l'air.

En effet le retard théoriquement prévisible de la pénétration à 60 cm de la variation annuelle est de l'ordre de 6 jours, il n'est pas décelable avec certitude sur les graphiques des valeurs mensuelles. Par contre, on observe la réduction de l'amplitude de la variation annuelle avec la profondeur. Il est essentiel de remarquer que le sol est toujours plus chaud que l'air et que les valeurs des moyennes sont très fortes. La décroissance en toutes saisons de la température vers la surface du sol est encore un facteur favorable à l'évaporation de l'eau du sol. On sait que l'effet de ce gradient thermique est quantitativement plus important lorsque le sol est déjà partiellement desséché; il aggrave donc l'action de la saison sèche.

VALEURS MENSUELLES - ZINDER 1953 - 1957 - en ° C													VALEURS ANNUELLES	
	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV.	DEC	Moy.	Amplitude
Température de l'air	22,6	26,2	30,0	32,2	32,1	30,4	27,9	26,6	28,1	29,4	27,5	23,1	28,1	9,6
Température à 0 cm														15,8
Température à 30 cm	22,4	25,0	30,5	34,2	33,8	32,6	31,4	28,7	30,2	30,8	28,5	25,0	29,4	11,8
Température à 60 cm	26,2	28,0	31,9	34,2	35,0	34,2	33,3	30,4	31,9	32,9	31,0	27,7	31,4	8,8

#### A2-2 Les précipitations

Variation saisonnière : Il n'existe qu'un seul régime pluviométrique caractérisé par une courte saison des pluies comme le montre la similitude des histogrammes de la figure 7 (Planche 4). Les premières pluies débutent en MAI et JUIN, la saison pluvieuse s'installe en Juillet, culmine en Août et elle est pratiquement close fin Septembre. N'GUIGMI a la particularité d'avoir un minimum secondaire en Juin (H. FAURE 1960).

**DONNÉES CLIMATOLOGIQUES - NIGER ORIENTAL.**

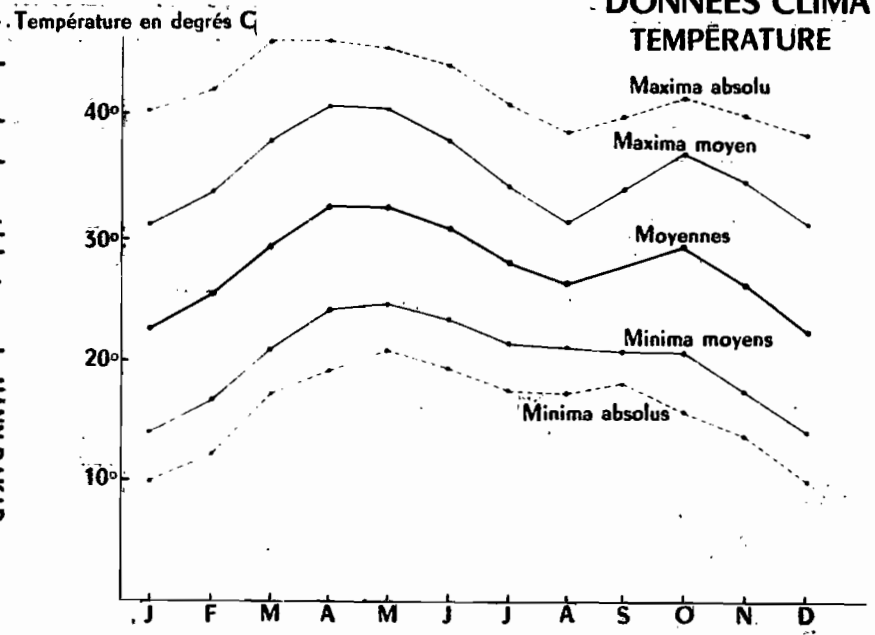


Fig. 3 : TEMPÉRATURES ZINDER (Période 1937-1954)

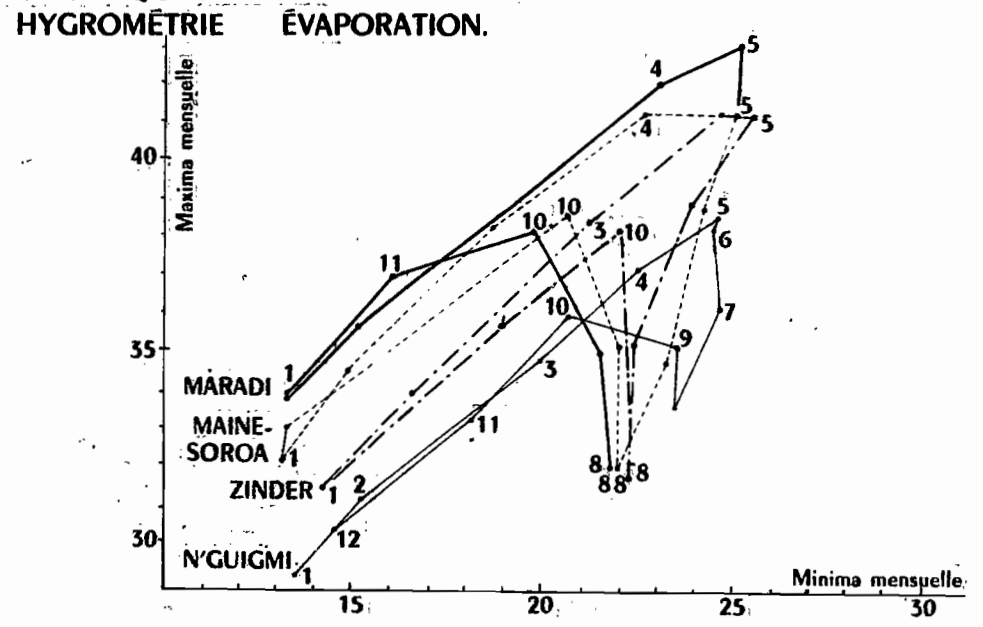


Fig. 4 : CLIMOGRAMME DES TEMPÉRATURES MAXIMA ET MINIMA AU NIGER ORIENTAL

Fig. 5. HYGROMÉTRIE ZINDER (Période 1937-1954)

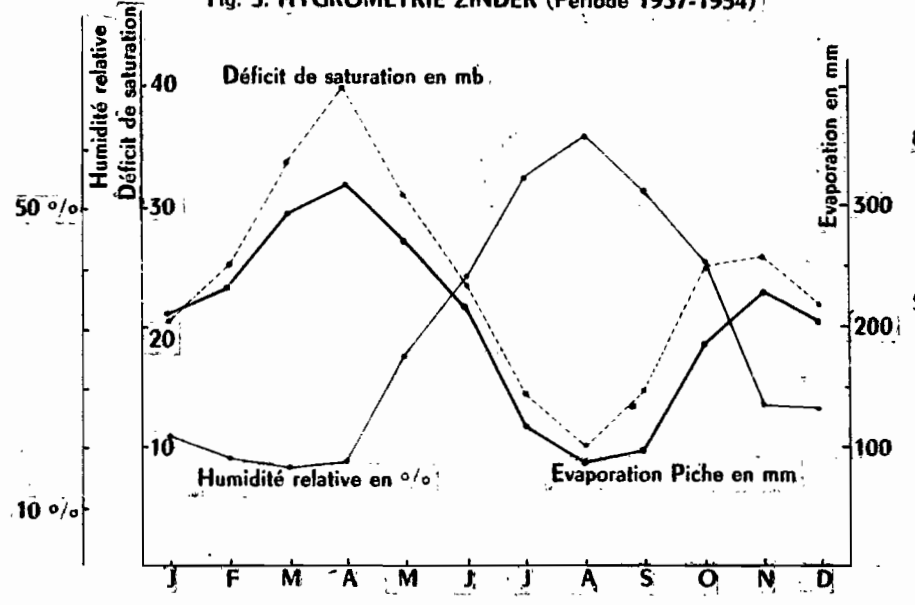
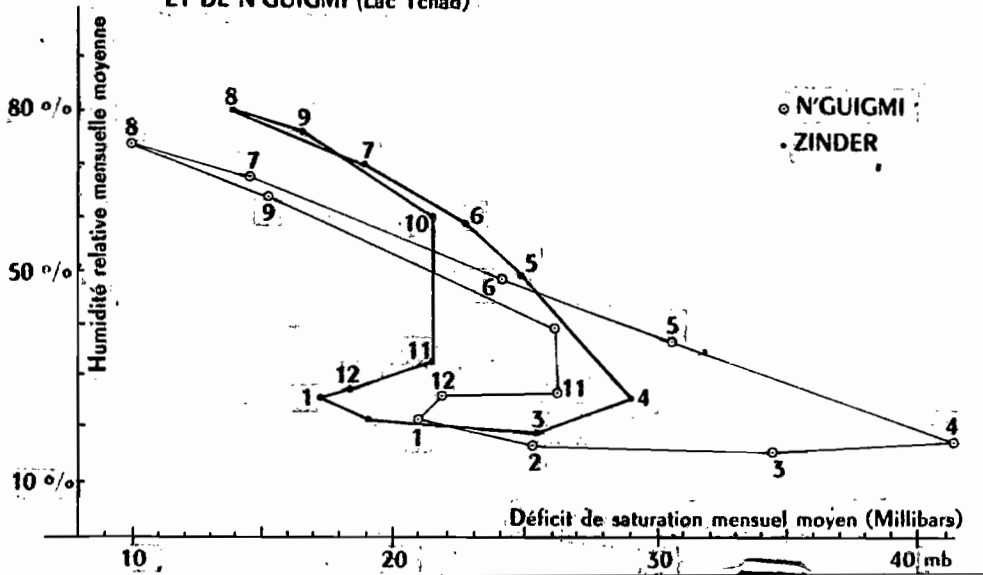


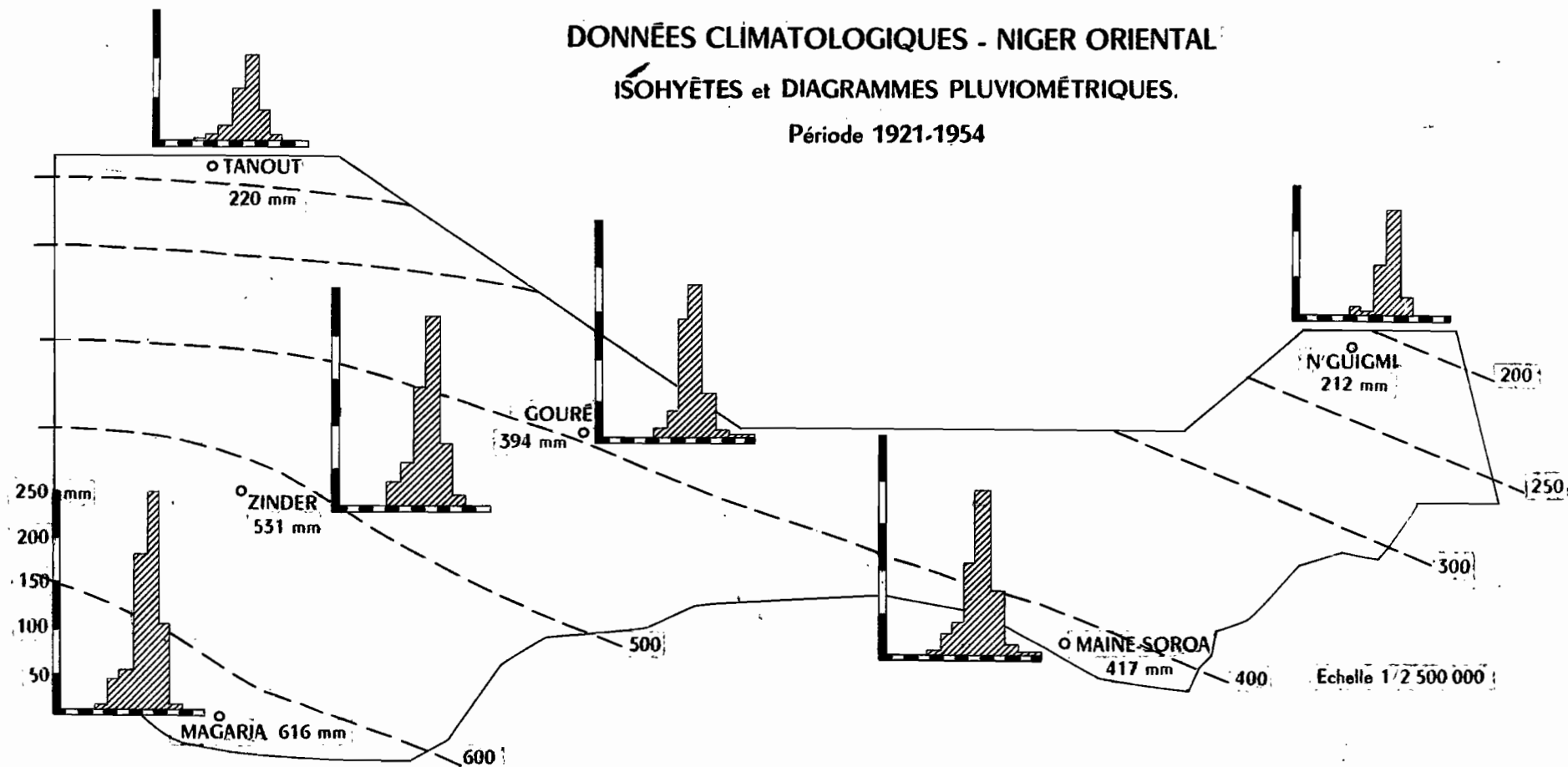
Fig. 6 : COMPARAISON DES CLIMOGRAMMES HYGROMÉTRIQUES DE ZINDER ET DE N'GUIGMI (Lac Tchad)



## DONNÉES CLIMATOLOGIQUES - NIGER ORIENTAL

### ISOHYÈTES et DIAGRAMMES PLUVIOMÉTRIQUES.

Période 1921-1954



PLUVIOMÉTRIE EN mm

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
MAGARIA				5,3	35,7	43,9	182,7	249,4	94,2	4,9			616,1
ZINDER				1,2	24,4	48,9	161,0	218,7	68,1	9,2	0,3		531,8
MAINE-SOROA		0,1	0,6	2,3	20,0	30,1	105,6	182,5	67,8	8,6			417,6
GOURÉ				0,8	9,0	23,9	135,6	170,7	51,6	2,5			394,1
TANOUT				0,2	7,4	13,9	64,6	98,7	34,5	1,5			220,8
N'GUIGMI					8,9	6,4	56,1	121,5	18,3	1,1			212,4

Le tableau 2 résume plusieurs aspects de la concentration annuelle des pluies montrant en particulier que la pluviométrie est d'autant plus concentrée qu'elle est plus faible.

TABLEAU 2

## PLUVIOMETRIE AU NIGER ORIENTAL

STATIONS	PLUVIOMETRIE (P)	p/P	P'/P	n	n'	Indice Pluviométrique	Maximum en 24 h.	Période Observation
MARADI	623mm	0,41	0,83	49	32	3-2-7	136 mm	1932-1954
MAGARIA	616mm	0,41	0,85	42		2-3-7		1948-1949
ZINDER	532mm	0,41	0,84	43	20	2-2-8	108 mm	1921-1954
MYRIA	529mm	0,38		48		2-2-8		1938-1949
MAINE SOROA	418mm	0,43	0,85	35	18	2-2-8	77 mm	1936-1954
GOURE	394mm	0,43	0,90	29		2-1-9	88 mm	1936-1949
GOUDOUMARIA	388mm	0,48	0,84	32		1-3-8		1953-1955
GUESKEROU	350mm	0,52	0,85	23		1-2-9		1953-1955
DIFFA	308mm	0,50	0,80	23		1-3-8		1953-1955
N'GUIGMI	212mm	0,57	0,92	19		1-1-10	92 mm	1936-1954

P : Pluviométrie annuelle

p : Pluviométrie du mois le plus pluvieux (AOÛT)

p' : Pluviométrie des trois mois les plus pluvieux (Juillet-Août-Septembre)

n : Nombre de jours de pluies

n' : Nombre de jours où il tombe plus de 10 mm

Indice pluviométrique : répartition des mois de l'année selon que la pluviométrie est supérieure à 100 mm, 30 mm, inférieure à 30mm (ces derniers étant considérés comme "écologiquement secs").

En valeurs moyennes annuelles pour la période, le maximum en 24 h. excepté.

Précipitations journalières et exceptionnelles : La région étudiée est située dans les limites de fluctuation du front intertropical (FTT) et les précipitations se présentent sous forme de tornades. Des études du Service d'Hydrologie de l'O.R.S.T.O.M. pour des régions voisines et climatologiquement comparables au NIGER Oriental, permettent de préciser les principales caractéristiques des précipitations journalières :



1°/ Les précipitations sont des tornades, de courte durée, dont le hyétogramme est sensiblement toujours le même :

- une période préliminaire de quelques minutes avec une intensité moyenne (20 à 30 mm/h)
- un corps de 10 à 30 minutes où l'intensité est supérieure à 60 mm/h; le paroxysme d'une durée souvent inférieure à 5 minutes peut atteindre 150 à 200 mm/h;
- une traine variant entre 30 minutes et 2 heures avec une intensité inférieure à 10 mm/h (P.DUBREUIL et R.LEFEVRE 1962)

2°/ Au fur et à mesure que l'on se dirige vers le Nord, la durée des différentes phases de la tornade diminue, mais les intensités ne subissent pratiquement pas de modifications (C. AUVRAY 1960).

3°/ La plus grande partie de ces pluies sont de faible hauteur, comme le montre l'analyse effectuée sur un grand nombre de stations de climats sahéliens et soudaniens pour lesquelles on a calculé les valeurs moyennes des précipitations de fréquence : 10%, 30%, 50% :

6 à 7,5 mm pour la pluie de fréquence 50%  
11 à 16 mm pour la pluie de fréquence 30%  
24 à 34 mm pour la pluie de fréquence 10%

(Pour une pluviométrie de 200 à 750mm)

4°/ L'augmentation de la hauteur des précipitations annuelles du Nord au Sud résulte non pas d'averses plus fortes, mais d'averses plus fréquentes.

D'après les mêmes études, la hauteur de précipitation décennale se situe entre 90 et 120 mm, lorsque la pluviométrie varie de 200 à 750mm.

Variations interannuelles : Le tableau 3 établi pour la période 1921-1949 donne les éléments de la dispersion pluviométrique.

La variabilité pluviométrique s'accuse dans les zones les plus sèches; il faut une chute annuelle moyenne de 550 mm environ pour que le total annuel de 300 mm ait une récurrence supérieure à 5 ans.

TABLEAU 3

S T A T I O N S	Nombre d'années d'observa	Pluviom. moyenne annuelle	Pluviom. maximale annuelle	Pluviom. maximale annuelle	Pluviom. maximale quinquennale	Pluviom. minimale quinquennale	Ecart réduit
AGADEZ	24	152mm	288mm	55mm	229mm	75mm	38,1 %
N'GUIGMI	22	199mm	388mm	42mm	308mm	90mm	41,7 %
TANOUT	11	219mm	396mm	101mm	333mm	105mm	37,9 %
GOURE	14	394mm	610mm	210mm	550mm	238mm	29,4 %
MAINE SOROA	11	403mm	629mm	228mm	578mm	228mm	31,8 %
ZINDER	26	519mm	801mm	257mm	625mm	413mm	24,5 %
MARADI	18	609mm	891mm	367mm	797mm	421mm	23,3 %
MAGARIA	12	616mm	909mm	389mm	830mm	402mm	25,5 %

Variations séculaires : Les relevés météorologiques ne remontent pas au-delà de 1920. En utilisant le parallélisme des variations de la pluviométrie et de l'hydraulicité des grands bassins (NIL, NIGER, CHARI) on a pu estimer les vicissitudes pluviométriques postérieures à 1870. D'après le graphique présenté par A. BOUCHARDEAU et R. LEFEVRE 1957 dans la monographie du LAC TCHAD (Graphique XIII p. 103-104) on note :

- une période humide antérieure à 1890
- une période sèche, particulièrement sévère en 1910-1920.

KW. BUTZER estime d'autre part que dans la région du NIGER occidental située au voisinage du 15ème parallèle, la moyenne pluviométrique 1911-1940 est de 25% inférieure à la moyenne 1881-1910.

Isohyètes interannuelles : La figure 3 de la planche 3 montre l'inclinaison suivant une direction NW-SE que prennent les isohyètes dès le parallèle de ZINDER. On note également une augmentation vers le Nord du gradient pluviométrique passant de 90 mm pour 100 Km entre ZINDER et MAGARIA, à 240 mm entre ZINDER et TANOUT (chiffre exceptionnel); cette différence s'atténue vers l'Est du territoire où le gradient est de l'ordre de 120 mm pour 100 Km. Cette forte diminution de la pluviométrie avec la latitude, traduit la dégradation rapide d'un climat tropical sec dans le sens de l'aridité

#### A2-3 L'état hygrométrique de l'air

Il peut être défini soit par l'humidité relative, soit par le déficit de saturation. Le cycle annuel moyen, pour toute la région étudiée comprend (fig.5 Planche 3) :

- Une saison sèche, de Novembre à Janvier, où le déficit baisse plus vite que l'hygrométrie en relation avec la baisse de température.
- Une saison très sèche de Février à Avril où le déficit augmente rapidement, l'hygrométrie restant à peu près constante (phénomène en partie attribuable au réchauffement).
- Une période de réhumidification qui commence en Mai et finit en Août.
- Une seconde saison sèche et chaude en Septembre et Octobre, toutefois plus humide que la précédente.

Cette extrême siccité de l'air (9 mois au-dessous de 50%, 6 mois au-dessous de 30%, minimum absolu de 1% en Avril) est caractéristique du NIGER Oriental.

La station de N'GUIGMI (Fig.7 Planche 4) diffère par une hygrométrie plus élevée, de Mars à Mai, en relation probable avec sa situation en bordure du lac TCHAD.

Le pouvoir évaporant de l'air, mesuré soit par l'évaporomètre PICHE, soit par des bacs Colorado, suit étroitement les variations du déficit de saturation (Fig.4 Planche 3). Les pointes évaporatoires d'Avril et de Novembre encadrent le minima de Janvier-Décembre et d'Août. Le tableau 4 ci-dessous, résume les données essentielles concernant l'évaporation PICHE au NIGER Oriental.

TABLEAU 4

EVAPORATION PICHE AU NIGER ORIENTAL

S T A T I O N S	Total annuel (en mm)	Maximum mensuel (Avril)	Minimum mensuel (Août)
ZINDER	2 538	323	88
MAINE SOROA	3 114	411	89
N'GUIGMI	3 419	368	154

Selon les mesures effectuées dans des régions voisines avec des bacs Colorado, l'évaporation annuelle varie de 2 300 mm à 3 200 mm lorsque la pluviométrie varie de 620 à 300 mm.

A2-4 Les vents et les phénomènes associés (Voir tableau 5 page 17)

Le régime annuel des vents est caractérisé au NIGER Oriental par l'alternance de la mousson de secteur Ouest-Sud Ouest, de Juin à Septembre et de l'harmattan, vent continental sec de secteur Est-Nord Est, pendant le reste de l'année (Planche 5 Fig. 8-9-10).

En début d'hivernage, lors du renversement des vents et notamment de Mai à Juillet, les vents se renforcent sporadiquement; apparaissent alors les "vents de sable", mais pour des durées qui ne dépassent pas quelques journées, et ils disparaissent pendant et immédiatement après la saison des pluies. Si la station de MAINE SOROA semble faire exception c'est probablement à cause de sa situation au pied de dunes érodées. Ce n'est que plus

loin vers le Nord, en zone présaharienne que ce phénomène des vents de sable prend plus d'ampleur (30 jours à AGADES).

L'analyse des données présentées dans le tableau 5 montre que les vitesses des vents sont généralement faibles dans la région étudiée, **quelle que** soit la saison : ainsi, 75% des observations concernent des vents inférieurs à 4m/s.

Si l'on considère l'action des vents durant la période Janvier-Mai correspondant à de mauvaises conditions du couvert végétal et du bilan hydrique des sols, on relève que 15% environ des vents durant cette période peuvent dépasser le seuil de vitesse minimum (CHEPIL 1945) correspondant à un début d'action érosive.

A.T. GROVE et R.A. PULLAN ont également calculé la capacité potentielle de transport des sables par le vent, pour le secteur occidental de la cuvette Tchadienne; la carte qu'ils ont établie est reproduite à la figure II Planche 5.

La "brume sèche", qui correspond à une suspension de poussière, est un phénomène plus fréquent dans la région étudiée que celui des vents de sable. Les brumes sèches n'apparaissent que durant la période d'harmattan et sont d'autant plus rares que le climat devient plus aride; on relève ainsi 75 journées environ de brume sèche par an dans le Sud à ZINDER et MARADI, 45 à MAINE SOROA, 23 à AGADES, 1 à N'GUIGMI. Une chute de poussières éoliennes a pu être observée dans le KADZEL, près de BOUDOUM dans la nuit et au matin du 18/2/1962.

### II A-3 LES EQUILIBRES PLUVIOTHERMIQUES ET LES INDICES CLIMATIQUES D'ARIDITE ET DE DRAINAGE.

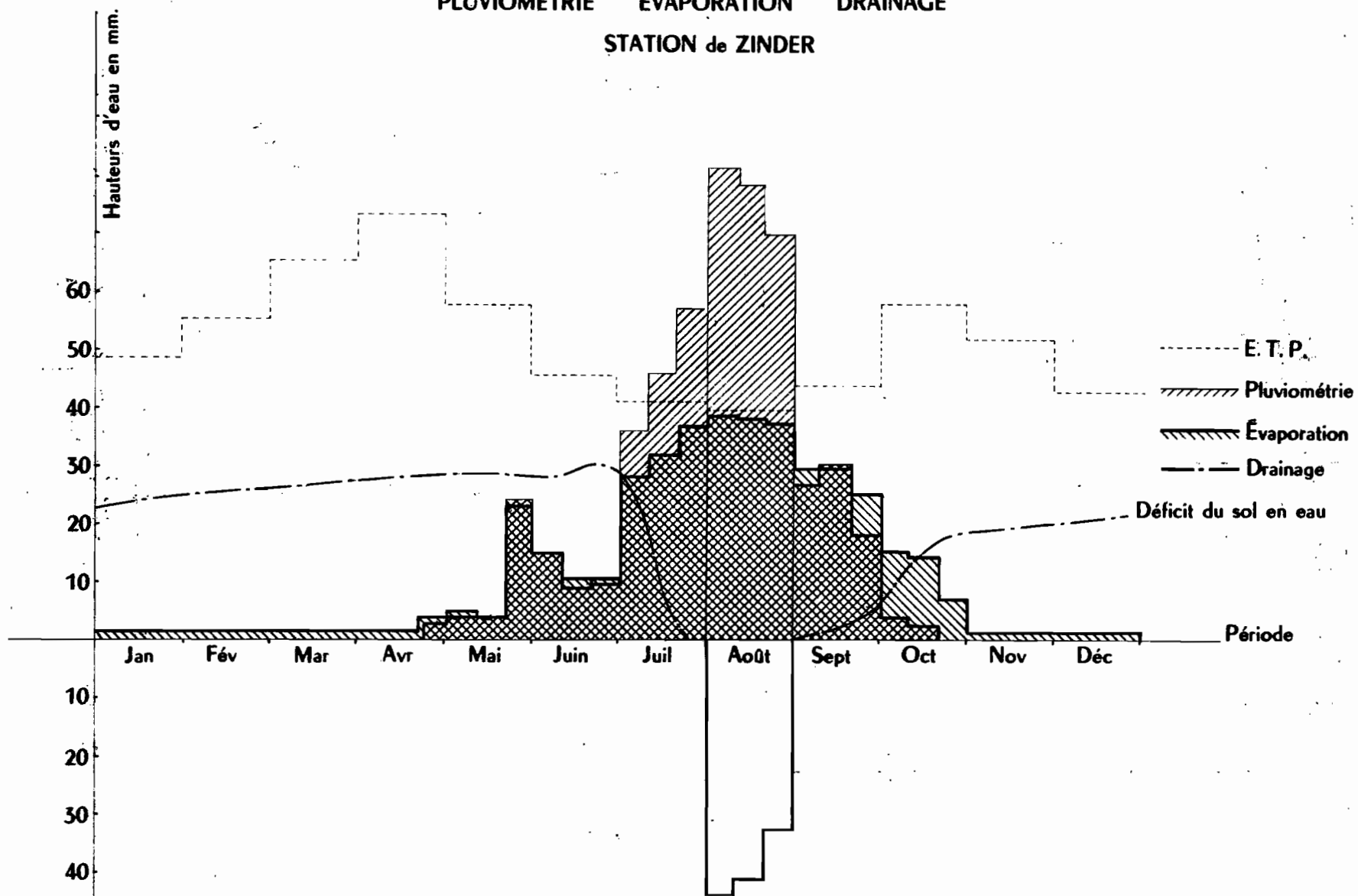
#### A3-1 : Evaporation : évapotranspiration potentielle et drainage des sols

Les formules de L. TURK 1953, testées au SENEGAL par C. CHARREAU en 1961, permettent de calculer l'évaporation, le drainage et le déficit en eau des sols, en fonction des données climatiques courantes et de l'importance du couvert végétal. Ce dernier facteur ne pouvant être évalué en dehors des cultures, la valeur maximum du drainage a été calculée dans le cas des sols nus. Les résultats sont présentés dans les planches 6 et 7 figures I2 à I6 et les conclusions suivantes peuvent en être tirées :

## DONNÉES CLIMATOLOGIQUES - NIGER ORIENTAL

PLUVIOMÉTRIE ÉVAPORATION DRAINAGE

STATION de ZINDER



Valeurs décadaires moyennes du drainage et de l'évaporation d'un sol nu  
valeurs mensuelles moyennes de l'évapotranspiration. ZINDER 1942-1956.

- L'évaporation suit de près la pluviométrie : le pouvoir évaporant de l'air étant toujours excessif, ce sont les réserves en eau du sol qui limitent les pertes; l'évaporation est donc la plus forte en pleine saison des pluies (Août).

- La période de drainage s'installe après la reconstitution des réserves en eau du sol, et ne déborde guère le mois d'Août.

- Il n'y a pas de possibilités de drainage au-dessous de 360mm de pluies, mais la phase de reconstitution des réserves en eau du sol existe toujours (Station de N'GUIGMI : Tableau 6).

L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est l'évaporation d'un sol ne manquant jamais d'eau et couvert d'une végétation (cas des sols irrigués) a été également calculée; elle ne dépend plus que du pouvoir évaporant de l'air dont elle suit fidèlement les variations et l'on remarquera ainsi le minimum du mois d'Août et les pointes d'Avril et Octobre.

#### Evapotranspiration des sols cultivés au SENEGAL (Charreau-Bonfils)

Au C.R.A. de BAMBEY on a mesuré l'évapotranspiration des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur sables quartzeux en cases lysimétriques portant la rotation mil-arachide-jachère. Nous pensons qu'il est possible d'extrapoler ces résultats à la zone arachidière Sud du NIGER Oriental pour les raisons suivantes :

° le climat Sahélo-Sénégalais du lieu de ces mesures n'est qu'une variété du climat Sahélo-Soudanais, dont il se distingue légèrement par une hygrométrie plus forte et des températures moins élevées; ces différences s'atténuent pendant la saison des pluies qui est, rappelons le, la période d'évaporation maxima; enfin ces différences elle-même ont une action quantitative négligeable. Ainsi le calcul montre que pour la même pluviométrie l'évapotranspiration sera supérieure d'environ 6 mm au mois d'Août à Magaria (NIGER) à celle de Bambeï.

## DONNÉES CLIMATOLOGIQUES - NIGER ORIENTAL

### PLUVIOMETRIE      ÉVAPORATION      DRAINAGE

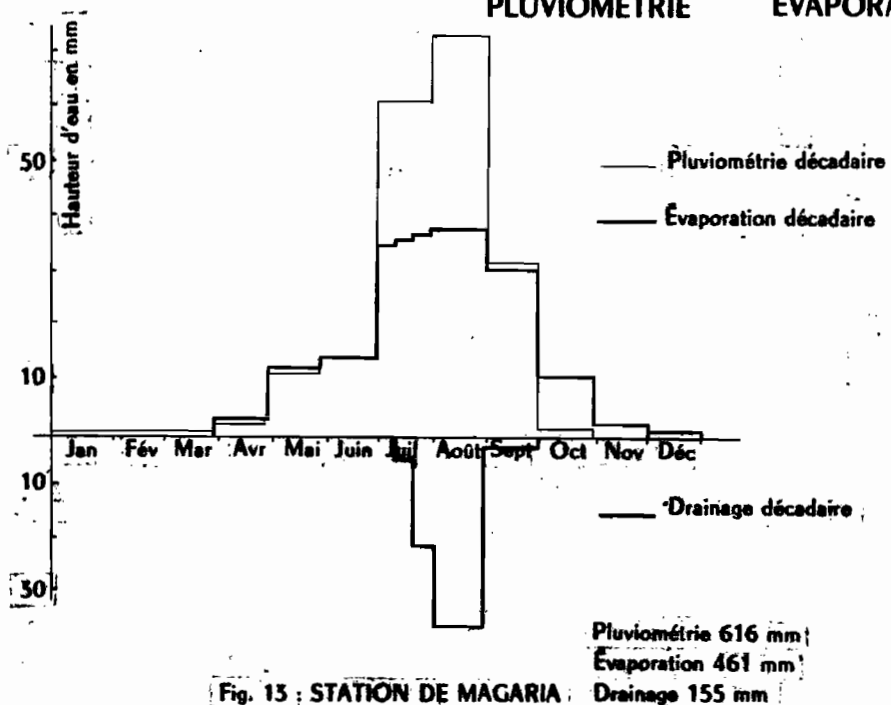


Fig. 13 : STATION DE MAGARIA

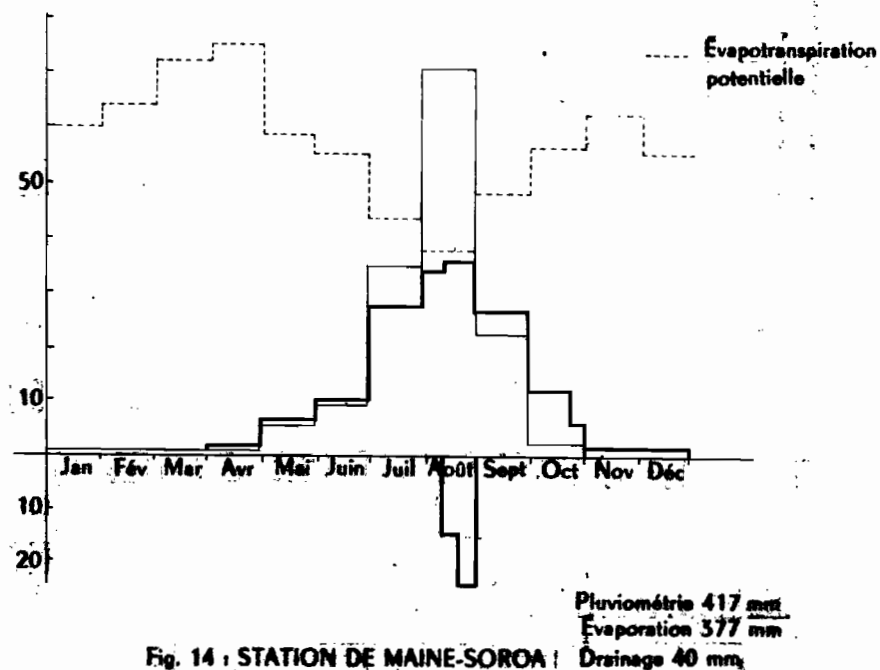


Fig. 14 : STATION DE MAÏNE-SOROA

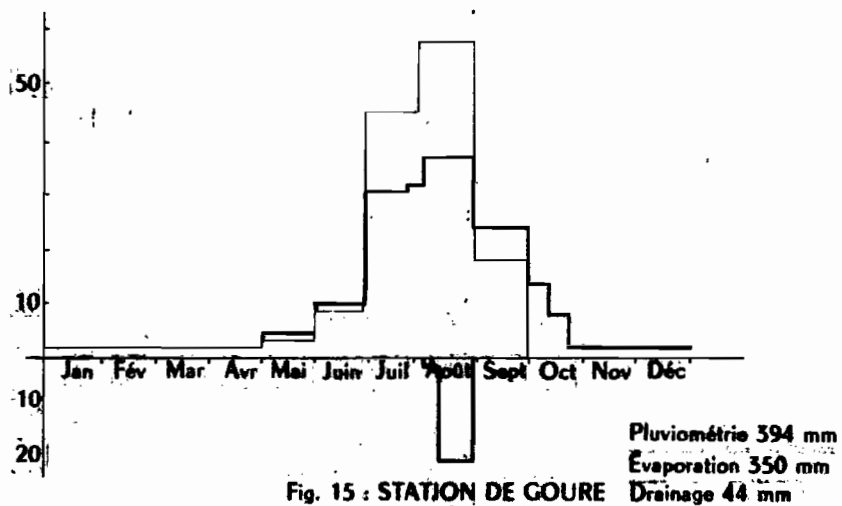


Fig. 15 : STATION DE GOURE

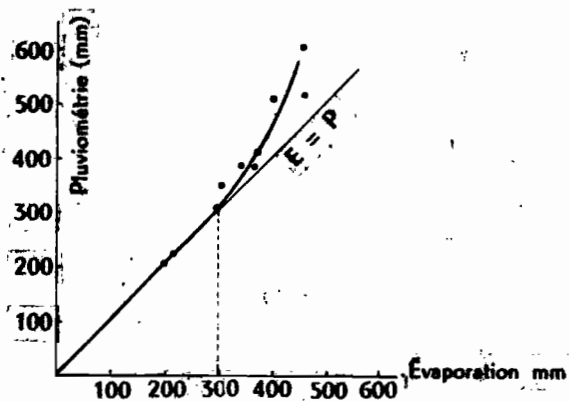


Fig. 16 : RELATION GÉNÉRALE ENTRE PLUVIOMETRIE ET ÉVAPORATION



° Les cultures testées sont les mêmes; les rendements en matière sèche sont toutefois plus élevés que dans les conditions naturelles : 45 à 70 quintaux/hectare de matière sèche; mais il n'est pas sûr que cela entraîne une surestimation de l'évapotranspiration des cultures traditionnelles, car on n'a pas observé à Bambey de corrélation entre les rendements et l'évapotranspiration totale ; enfin le calcul montre qu'en divisant par deux ces rendements au mois d'Août en réduit l'évapotranspiration de 6% seulement.

° Les sols testés sont très voisins, sinon identiques en ce qui concerne leurs propriétés physiques, des sols arachidiers des régions de Matameye Magaria, Zinder Sud.

Les mesures portent déjà sur six ans, période pendant laquelle la pluviométrie a varié entre 466 et 867 mm. Nous pensons qu'il est possible grâce à l'uniformité thermique dans le temps et dans l'espace des climats Sahélo-Soudanais et Sahélo-Sénégalais, d'admettre provisoirement l'hypothèse suivante :

La relation moyenne qui lie le drainage et l'évapotranspiration à la pluviométrie est la même dans tous les points de la zone climatique sus-mentionnée.

Par conséquent les évapotranspirations mesurées en un même point pour différentes pluviométries sont les mêmes que les évapotranspirations mesurées en divers points à pluviométries différentes. La cause d'erreur principale qu'entraîne cette hypothèse est que le déficit initial du sol en eau en début de saison des pluies est d'autant plus fort que la pluviométrie moyenne est plus faible, alors qu'ici nous le supposons constant **et** égal à celui d'**une** zone relativement humide. Cette erreur est également de second ordre, les déficits initiaux de Bambey étant déjà très forts.

Lorsque la pluviométrie varie de 470 à 700mm, le drainage D(mm) est lié à la pluviométrie (P mm) par la relation :

$$D = 0,68 P - 320 \text{ sous cultures (Bambey)}$$

et par la relation

$$D = 0,61 P - 220 \text{ en sol nu (calculs)}$$

Il n'y a pas de drainage au-dessous de 2m de profondeur, sous cultures au-dessous de 470 mm; il s'annule également sous sol nu pour une pluviométrie inférieure à 360 mm.

L'évapotranspiration mesurée à Bambey est au plus égale à :  
6mm/jour

TABLEAU 5

VENTS ET PHENOMENES ASSOCIES

STATIONS	Période	Nombre de jours				Fréquences en % des vents selon leur vitesse en m/s				
		Brume sèche	Vents de sable	Vents 1-6 m/s	Vents 2 m/s	m/s	2-4	5-6	7-14	15-21
AGADES x (7,05m) (1)	Janvier-Mai	19	9	3	0	26,5	45	14,5	14	0
	Juin-Septembre	4	19	8	3	26,0	54	13	7	0
	Octobre-Décembre	0	2	2	0	28	43	15	14	0
N'GUIGMI (2)	Janvier-Mai	1	0	-	-	32	56	7	5	0
	Juin-Septembre	0	2	1	1	33	53	13	1	0
	Octobre-Décembre	0	0	-	-	27	65	7	1	0
MAINE SOROA (3)	Janvier - Mai	16	6	-	-	31	55	11	3	0
	Juin-Septembre	1	0	-	-	13	75	10	2	0
	Octobre-Décembre	28	3	-	-	19	61	17	3	0
ZINDER (4) (10m)	Janvier-Mai	38	1	-	-	18	66	14	2	0
	Juin-Septembre	1	1	12	6	16	63	16	5	0
	Octobre-Décembre	30	-	1	-	23	59	16	2	0
MARADI (6,83m) (5)	Janvier-Mai	38	-	-	-	38	48	10	4	0
	Juin-Septembre	2	3	11	5	38	47	11	3	1
	Octobre-Décembre	24	-	-	-	46	40	13	1	0

x Hauteur au-dessus du sol de l'anémomètre. (La vitesse du vent augmente en proportion du logarithme de la hauteur).

**A 3-2 : Indices climatiques d'aridité et de drainage**

De nombreux indices climatiques ont été proposés pour estimer l'aridité globale et le drainage des sols. Ces indices, établis empiriquement et présentant un caractère abstrait, ont été utilisés pour être comparés dans le tableau 6 aux valeurs de drainage (pluviométrie supérieure à 300 mm) ou du stock maximum d'eau (pluviométrie inférieure à 300 mm), déduites des formules de L. TURK dans le cas d'un sol nu.

TABLEAU 6

PLUVIOMETRIE		DE MARTONNE	CAPOT-REY	HENIN-AUBERT	TURK drainage	Stock
N'GUIGMI	212 mm	5,5	8	9 mm	0 mm	34 mm
MAINE SOROA	418 mm	11	19	17 mm	39 mm	
ZINDER	532 mm	14	25	34 mm	118 mm	
MARADI	623 mm	16	28	57 mm	163 mm	

DE MARTONNE :  $I = P/T + I_0$

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C)

CAPOT-REY :  $I = I/2 (100 P/E + I_2 p/e)$

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

E : évaporation PICHE Totale annuelle (mm)p

p,e,: valeurs pour le mois le plus humide des grandeurs précédentes.

HENIN-AUBERT :  $D = jp^3/I+jp^2$

P : pluviométrie moyenne annuelle (m)

j : fonction de la température de l'ordre de 0,25.

**II A-4 LE CLIMAT CONSIDERE COMME FACTEUR DE PEDOGENESE ET DE MORPHOGENESE**

L'analyse des principales caractéristiques climatiques, de leur régime et de leur variation géographique dans la région étudiée, souligne l'importance déterminante de la pluviométrie qui peut être considéré comme le facteur climatique limitant de la pédogenèse actuelle. Les relations suivantes entre le climat et la pédogenèse peuvent être précisées.

A 4-1 : Pluviométrie et drainage. La comparaison de la pluviométrie à une estimation de l'évapotranspiration permet d'estimer le volume d'eau drainant le sol et capable de participer à un lessivage. (L. TURK 1953 et DU-CHAUFOUR 1960). Cette estimation a montré que l'isohyète 360 mm marque la limite des possibilités de drainage des eaux pluviales à travers le sol au-dessous de 2m. A cette isohyète correspond également la limite des possibilités d'alimentation en eau de la nappe; BOURGUET (1949) situait en MAURITANIE cette limite théorique à l'isohyète 400 mm.

Mais ces estimations sont théoriques et il convient de préciser deux points :

- D'une part les chutes des pluies des années exceptionnellement pluvieuses **peut** déterminer une pénétration plus profonde des eaux pluviales dans le sol. Ce fait rendrait compte de la différenciation des profils sur une assez grande épaisseur (MAIGNIEN 1961).

- D'autre part, lorsque l'alimentation en eau du sol est très limitée, le facteur topographique ou le facteur matériau originel, jouent un rôle déterminant en accentuant les types de différenciation en pédo-climat plus sec ou plus humide (AUDRY 1962)

A 4-2 : Climat, désagrégation et altération. Les actions mécaniques, de désagrégation des roches par des variations thermiques et hydriques, deviennent intenses dans le domaine subaride à sécheresse et température excessives. On observe ainsi des écailles de desquamation sur les affleurements granitiques dans les régions de ZINDER et de GOURE. A ces actions mécaniques peuvent être également rapportés l'éclatement des galets de quartzite et la fissuration du cortex et de la patine ferrugineuse sur des nodules ou des débris de cuirasses.

Les actions physicochimiques déterminant l'altération proprement dite des roches, ne s'exercent généralement que durant la saison pluvieuse qui est en même temps une période chaude à 30° environ de température moyenne. Les conditions d'altération sont donc de courte durée mais peuvent être très intenses, les températures élevées favorisant les phénomènes d'hydrolyse (PEREIRA BARRETO 1960).

Certains horizons d'altération, qui présentent une intense néo-synthèse argileuse et une forte individualisation d'hydroxydes sur une profondeur de plusieurs mètres, correspondent soit à une action locale de la nappe, soit à d'anciens horizons d'altération différenciés par un climat plus humide que l'actuel. Ainsi la présence d'alumino libre (gibbsite), associée à de la Kaolinite dans les horizons d'altération d'un granite alcalin à riebeckite et aegyryne de la région de ZINDER (Profil NA 32 ZINDER), permet de supposer une altération ancienne intense de type Ferrallitique.

Enfin, si les conditions climatiques actuelles permettent une brève mais assez intense altération, par contre, la migration des produits de la décomposition des roches se trouve limitée aux sels les plus solubles et la distance de migration réduite.

Ce fait est une des caractéristiques essentielles de la pédogénèse comme de la morphogénèse dans ces régions.

#### A4-3 : Pluviométrie. Ecoulement et ruissellement. Erosion hydrique.

La diminution rapide de la pluviométrie avec la latitude n'est pas suivie d'une modification de l'intensité de chaque précipitation. Ainsi la concentration des pluies sous forme de tornades favorise le ruissellement et augmente l'énergie érosive du climat.

La pluviométrie est localement suffisante pour entretenir en zone peu perméable un écoulement souvent du type endoreïque et que l'on peut estimer de l'ordre de 10% d'après les données des annuaires hydrologiques.

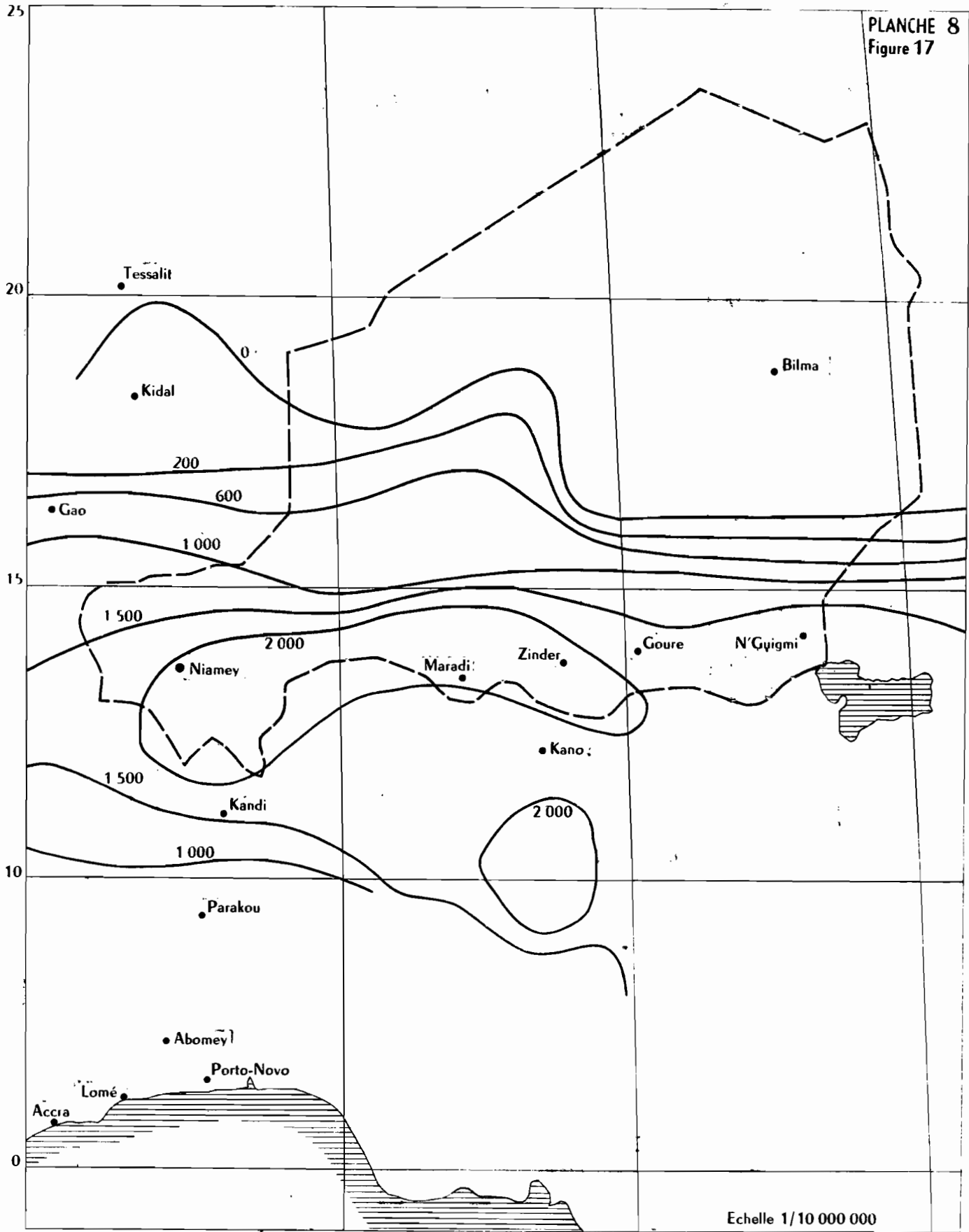
TABLEAU 7

- COEFFICIENT D'ECOLEMENT -

BASSIN VERSANT (Petits bassins peu perméables)	Superficie Km <sup>2</sup>	Pluviométrie mm/an	Coefficient d'écoulement%
BASSIN de la MAGGIA (NIGER)	21	589	8,2
HAMZA	21	589	8,2
ALOKOTO	49	603	11,9
SABONGA	85	550	9,3
Oued SELOUMBO (Mauritanie)	56	230	10,5

ÉROSION NORMALE (Ton<sup>es</sup>/an/km<sup>2</sup>) EN RÉPUBLIQUE DU NIGER  
 D'après F. FOURNIER (1958-1960)

PLANCHE 8  
 Figure 17



Les deux étapes de l'écoulement des eaux superficielles sont :

- Le ruissellement initial sur les versants et les glacis (écoulement en nappe), déterminant une érosion aréolaire.
  
- L'écoulement concentré provoquant l'érosion linéaire dans les thalwegs.

Ces deux formes d'écoulement sont responsables d'une dégradation totale du sol, qu'il est possible d'évaluer d'après la formule de FOURNIER (1958) : celle-ci traduit que la dégradation spécifique ou érosion calculée augmente avec la dissymétrie de la répartition des pluies dans l'année  $p/P$  et avec le volume d'eau actif :  $p$ . l'érosion calculée, en tonnes/an/Km<sup>2</sup> est une fonction croissante de  $p^2/P = p/P) \times p$  où  
 $p$  = Pluviosité du mois le plus arrosé  
 $P$  = Pluviosité moyenne.

La carte schématique, reproduite à la planche B, montre que la région étudiée se situe entre des courbes d'érosion calculée supérieures à 1500 et 2000 tonnes/an/Km<sup>2</sup>, ce qui représente une très forte agressivité du climat. Ces estimations apparaissent valables pour des zones de massifs comme le DAMERGOU présentant un coefficient de ruissellement élevé, (faible perméabilité des sols et pentes des glacis). Par contre elles semblent peu justifiées, dans la cuvette tchadienne où les formations sableuses dunaires à forte perméabilité, ne montre que fort rarement les effets de l'érosion par un ruissellement (DUBIEF E. 1953).

Les manifestations de l'érosion hydrique s'observent en effet en relation avec une plus faible perméabilité des sols et une protection moindre par la couverture végétale réduite et discontinue. Les trois formes d'érosion suivantes ont été notées :

- L'érosion pluviale, liée à la violence des pluies se traduit par la formation de croûtes superficielles très fréquentes en domaine subaride. Ces croûtes, correspondant à un litage de la partie superficielle du sol et à son glaçage en surface, sont formées par destruction des agrégats et dépôts avec classement des produits

de désagrégation. Ce glaçage superficiel diminue l'infiltration des eaux et prépare l'érosion par ruissellement.

- L'érosion en nappes ravinantes se manifeste principalement sur les longs versants peu perméables et se présente en surface du sol sous forme de petits décrochements en marches d'escalier atteignant plusieurs centimètres de hauteur. C'est là un mécanisme morphogénétique éventuel contribuant à l'évolution du relief par pédiplanation.
  
- L'érosion en ravines est limitée aux glacis adossés à des massifs rocheux et à certains affleurements de roches sédimentaires ("bad land" sur argile crétacée du DAMERGOU).

A 4-4 : Le vent et l'érosion éolienne. L'érosion éolienne est conditionnée par la vitesse du vent, l'érodibilité propre du sol et sa protection par la végétation : Ce dernier facteur est déterminant dans la région considérée et les phénomènes éoliens lui apparaissent étroitement liés.

L'érosion par le vent correspond à l'ablation des matériaux les plus fins de la partie supérieure du sol (déflation) et à l'abandon des plus grossiers; elle ne se déclenche qu'après une diminution du couvert végétal et après toute dégradation de la partie supérieure du sol, conduisant à une diminution de sa cohésion. Elle est ainsi la plus favorisée dans les zones de culture, dénudées et parcourues par le bétail. Les sols peuvent être alors partiellement tronqués avec apparition de plages nues, striées, et de plages d'accumulation de sables grossiers.

En conclusion, le vent ne peut pas être considéré comme facteur pédogénétique important puisque son action n'a lieu qu'après la disparition du couvert végétal suivie d'un début de dégradation de la surface du sol. C'est néanmoins un facteur d'importance agronomique non négligeable dans les régions intensément cultivées ou pâturées.



## II A-5 LES VARIATIONS CLIMATIQUES ANCIENNES

Les conditions climatiques présentes ne sont pas les seules à avoir orienté et déterminé la formation de tous les sols que l'on observe actuellement, depuis les formations arides dunaires jusqu'aux formations cuirassées de type tropical.

On considère que dans la zone aride tropicale, les variations climatiques anciennes ont consisté en la succession de phases pluviales et interpluviales liées aux périodes glaciaires en Europe (BUTZER K.W. 1961). Dans ces régions, l'abaissement de température - correspondant à une période glaciaire - aurait été négligeable, mais l'accroissement des précipitations très appréciable. Durant le pleistocène - soit environ un million d'années - quatre phases pluviales se seraient succédés et à l'holocène - soit environ dix mille ans - n'auraient eu lieu que des oscillations climatiques mineures.

Au NIGER Oriental, ces variations climatiques ont été contemporaines d'une activité tectonique qui a conduit à la formation de la cuvette tchadienne et elles ont ainsi fait largement varier les conditions lacustres dans cette région. Dans cette perspective, cette étude sera reprise dans les chapitres suivants concernant l'histoire géologique et la formation du modelé.

## II B. LES ROCHES MERES ET LES MATERIAUX ORIGINELS DES SOLS

### II B-1 STRATIGRAPHIE ET PRINCIPALES FORMATIONS GEOLOGIQUES DU NIGER ORIENTAL

- LE SOCLE PRECAMBRIEN : Les formations les plus anciennes affleurent, dans le DAMAGRAM-MOUNIO, où elles représentent des témoins septentrionaux du Massif Précambrien du NIGERIA.

Un métamorphisme général, et des intrusins abondantes de granites ont affecté cette région, où l'on observe : (H. FAURE 1952).

° Des granites anciens d'anatexie, calcoalcalins (région de KELLE), localement à facies porphyroïde. Dans ces granites subsistent des éléments d'une série métamorphique antérieure aux quartzites de GUEZA, sous forme d'enclaves de roches sombres ou claires, riches en minéraux verts (Plaine de GAFATI).

° La série de GUEZA, composée de schistes, de roches calcaires et magnésiennes métamorphisées et surtout de quartzites donnant les affleurements les plus remarquables du DAMAGARAM (Massifs de GUEZA et d'ILLELA).

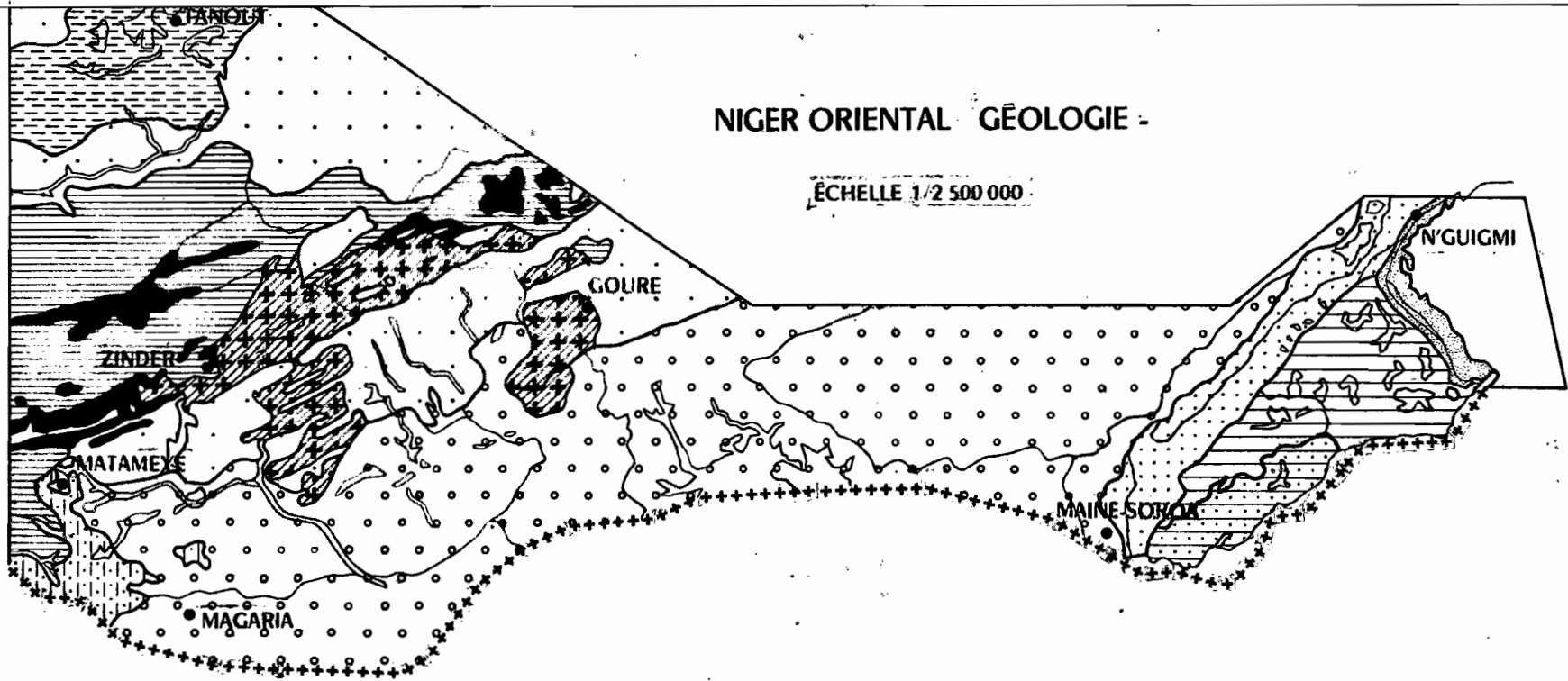
° La série d'ATILAFIA, représentée par des quartzites, des schistes et des micaschistes, affleure notamment à BIRBIROUA et WACHA.

Dans le massif du MOUNIO (GOURE), ces séries anciennes renferment principalement des micaschistes avec intercalations de paragneiss, des cipolins et des quartzites.

° Des granites "ultimes" intrusifs, auxquels sont associés des microgranites, rhyolithes et trachytes, recourent les séries précédentes. Ce sont les granites hyperalcalins à riebeckite et aegyrine affleurant dans la région de ZINDER sous forme de chaos. Dans le MOUNIO, ces rhyolithes apparaissent sous forme de blocs anguleux; des trachytes accompagnent des microgranites et des granites hyperalcalins dont les affleurements circulaires sont parsemés de blocs arrondis, correspondant à la fragmentation d'épaisses écailles de desquamation.

- LE CONTINENTAL INTERCALAIRE : La transgression marine paléozoïque n'a pas affecté cette partie méridionale du NIGER Oriental.

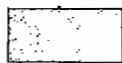
Au crétacé inférieur s'établit un régime de sédimentation continentale à dominante gréseuse, comprenant des grès feldspathiques grossiers à stratification oblique ou entrecroisée, à bois silicifiés, et des intercalations riches en argile montmorillonitique ou illitique. Seule la partie supérieure du groupe du TEGAMA - la formation d'ECHKAR - elle-même surmontée par une formation continentale de transition (grès fins du Cénomanién inférieur) est bien représentée dans la région étudiée et constitue la partie centrale du massif de DAMERCOU.



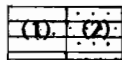
## NIGER ORIENTAL GÉOLOGIE -

ÉCHELLE 1/2 500 000

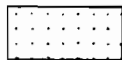
### AFFLEUREMENTS DES PRINCIPALES FORMATIONS GÉOLOGIQUES ET RÉPARTITION DES MATÉRIAUX ORIGINELS DES SOLS



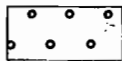
Formation sableuse du Lac Tchad



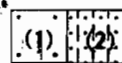
Alluvions fines (1)  
Dépôts sableux (2)  
Alluvions du Kadzell



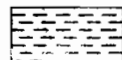
Formation sableuse du cordon de Tal



Formation sableuse du Manga et du bassin de la Korama.



Formation sableuse des ergs anciens orientés (1) et formation de Bandé (2).



Argiles et grès du Damergou (Sénonien, Turonien, Cénomani) avec ensablements



Grès continentaux (1) avec ensablements (2)



Roches cristallines: Granites, Quartzites et roches métamorphiques

- LE CRETACE SUPERIEUR MARIN : La transgression marine du Cénomanién supérieur et du Turonien inférieur a laissé en bordure du DAMERGOU des dépôts d'argile feuilletée montmorillonitique pouvant admettre de l'attapulgite. Dans ces argiles sont intercalées de minces dalles calcaires à riche faune marine (Néolobites, Nigericeras, Pseudotissotia).

Au Turonien supérieur et au Sénonien inférieur sont attribués des niveaux d'argile feuilletée ou de grès fins avec une intercalation dans la série du DAMERGOU, de Lumachelles à lamellibranches.

C'est également au Crétacé supérieur que H.FAURE rattache la formation des grès du KOUTOUS. Cette unité lithologique est composée de terrains subhorizontaux, essentiellement détritiques, généralement grossiers et hétérogènes formés de bancs et de lentilles de grès à ciment argileux

- LE TERTIAIRE ET LE CONTINENTAL TERMINAL : A l'Eocène inférieur, une lacune très nette a pu être mise en évidence dans cette région et la surface inférieure de la discordance porte la trace d'altérations profondes marquées par des roches résiduelles : Bauxite, Kaolin, Alunite (H.FAURE 1962).

Le "Continental Terminal" correspond à l'Eocène supérieur et à l'Oligocène. Pour H. FAURE il est représenté dans les formations quaternaires anciennes de ZAOUZAOUA (Damergou) et de BOULA KOURA (Koutous) par la présence d'Oolithes ferrugineuses en galets inclus dans une cuirasse quaternaire ferrugineuse conglomératique. Pour J. GREIGERT, les grès bariolés - avec tubulures fréquentes - du massif de KORGOM, correspondent à la partie supérieure du Continental Terminal (J. GREIGERT 1954 et 1957).

- LA FIN DU TERTIAIRE ET LE QUATERNAIRE : L'histoire géologique de cette période est dominée par deux facteurs :

- des mouvements épirogéniques se traduisant par l'enfoncement de la cuvette tchadienne et une surélévation corrélative des zones de bordure.

- des variations climatiques qui ont conditionné les phénomènes d'érosion et de sédimentation et qui ont pu faire largement varier les conditions lacustres dans la dépression Tchadienne. (Transgressions et régressions du Lac TCHAD de J. PIAS 1958).

M. FAURE (1962) a donné le cadre général de la stratigraphie du Quaternaire du NIGER Oriental en distinguant quatre cycles climatiques :

° 1ers. CYCLES

: Phase humide de creusement dans les régions en voie de soulèvement. Une érosion très active, postérieure au Continental Terminal a déterminé l'enlèvement d'une tranche de 100 m environ d'épaisseur et la sédimentation des premiers dépôts du bassin Tchadien.

Pouvant comprendre elle-même plusieurs cycles climatiques, cette période ancienne est ensuite marquée par un arrêt du creusement attribué à une diminution de la pluviométrie.

A cette phase plus aride, sont rattachés les dépôts de hautes terrasses à galets se présentant actuellement sous forme de cuirasses ferrugineuses conglomératiques (renfermant des galets d'Oolithes ferrugineuses) perchées par inversion de relief; ce sont en particulier les formations de Zaouzaoua du Damergou et de **Boula Koura** du Koutous. A cette phase correspondrait également un arrêt de la sédimentation dans la cuvette du TCHAD.

° 2ème CYCLE

: Phase humide: L'inversion de relief de ces terrasses de remblaiement cuirassées, indique un deuxième creusement auquel a pu correspondre une reprise de la sédimentation dans la cuvette du TCHAD. Les dépôts de cette époque sont rarement accessibles et ils peuvent être représentés par les alluvions les plus anciennes des fonds de "Kori" (Oueds).

: Phase aride prolongée : Elle correspond au Paléolithique moyen durant lequel s'est formé l'erg ancien qui recouvre et fossilise ces deux surfaces de creusement. Cet erg ancien actuellement fixé (MANGA) est caractérisé par des sables colorés et il a pu se former à partir des sables alluviaux abandonnés à la fin de la période humide précédente.

### 3ème CYCLE

: Grande phase humide, lacustre, à diatomées (ATERIEN). Elle est marquée par l'envahissement d'une grande partie de l'erg ancien par un Paléo-Tchad qui a laissé dans les zones déprimées, d'abondants dépôts de diatomites surmontés ou non de calcaires lacustres. Les diatomites seraient le résultat du premier "dépôt biochimique d'une phase migratrice" correspondant à une intense altération sur les continents (ERHART 1956 - H. FAURE 62) Les étapes suivantes de la différenciation dans le temps de cette phase migratrice sont représentées par les dépôts calcaires puis les dépôts salins.

Les datations au Carbone radioactif permettent de préciser que les derniers dépôts de diatomite datent de 6.500 ans avant notre ère et que la régression du lac devait être presque totale en l'an 5000 av. J.C.

Par ailleurs, la déformation actuellement apparente de l'ancienne surface du dépôt des diatomites dans le TENERE, conduit H. FAURE à admettre l'hypothèse d'un enfoncement relatif de la cuvette Tchadienne postérieurement à ces dépôts lacustres.

: Phase aride postérieure aux diatomites. Elle correspond à l'assèchement plus ou moins complet des lacs, que traduit l'augmentation de salure (limons salés surmontant les diatomites) et à un second cycle dunaire difficile à distinguer du premier lorsqu'il n'en est pas séparé par les diatomites.

#### 4ème CYCLE et fluctuations récentes

: Une nouvelle phase de creusement (vallée de 20 à 30 m postérieures aux diatomites) marque la réinstallation d'une nouvelle phase humide au Néolithique (pluviométrie plus faible qu'au Paléolithique).

: La période aride récente et actuelle est définie dans les régions septentrionales par la formation de l'Erg vif récent du TENERE et au voisinage de la cuvette Tchadienne actuelle, par des dépôts éoliens de poussières très fines, des dépôts salins, et des alluvions fluviolacustres (KADZELL).

### II B-2 LES MATERIAUX ORIGINELS DES SOLS AU NIGER ORIENTAL

#### B2-1 GENERALITES :

Les matériaux originels des sols sont moins nombreux, moins variés et de répartition générale plus simple que les roches dont ils dérivent (planche 9 fig I8). Ce fait résulte principalement de la grande extension des couvertures sableuses. En dehors du domaine de la cuvette Tchadienne où elles sont particulièrement épaisses, ces formations dunaires peuvent très souvent masquer des roches variées sous un ensablement de faible épaisseur, ou bien ne laisser offleurer que des blocs ou des massifs rocheux. Ainsi, près de 70% de la surface cartographiée au NIGER Oriental porte une couverture sableuse continue. Le reste correspond soit à des dépôts sableux discontinus séparés par des matériaux fréquemment modifiés par ces sables soit à des matériaux dérivant plus directement de roches telles que : les roches cristallines et métamorphiques, les grès, les argiles sédimentaires.

Les roches quartzitiques, par désagrégation, ont libéré des quantités importantes de matériel sableux. La plupart des roches granitiques sont à l'origine de matériaux sablo-argileux à argilo sableux dans lesquels la Kaolinite semble dominer. Certains granites et des roches métamorphiques plus basiques, sujets à une argilisation plus importante avec apparition de minéraux argileux de type 2 : comme la montmorillonite, donnent naissance à des matériaux argilo sableux à argileux.

Pour les roches sédimentaires où dominant largement les grès, H. FAURE a donné la répartition des minéraux argileux dans les diverses formations du NIGER Oriental. On note ainsi une dominance de la montmorillonite, dans les formations du crétacé inférieur, moyen et supérieur marin. La Kaolinite serait la plus fréquente ensuite jusqu'au quaternaire ancien, dans la région étudiée.

Dans ces formations sédimentaires, les puissantes séries gréseuses sont à l'origine de la plus grande partie du matériel sableux, épandu en nappes alluviales et remanié ensuite par le vent pour former les ensablements plus ou moins épais et continus, si fréquents au NIGER Oriental.

#### B2-2 : LES MATERIAUX SABLEUX :

La prospection pédologique a montré l'existence d'un petit nombre de "formations sableuses" définies par la présence - dans une zone géographique limitée - d'un type de matériau sableux présentant un certain modèle et un certain type de différenciation pédologique. Une étude granulométrique et une reconnaissance morphoscopique des différents matériaux sableux, ont été effectuées dans le but de vérifier l'existence de ces formations sableuses au NIGER Oriental.

#### 22-1 Etude granulométrique des sables :

a/ Méthode d'étude : La méthode d'analyse granulométrique est exposée en annexe. Les résultats analytiques obtenus, présentés également en annexe, ont permis de caractériser chaque granulométrie par trois groupes d'indices ou de graphiques :

- La moyenne et l'écart type, calculés et exprimés en unités
- La courbe des fréquences cumulées en ordonnées "Probit" (courbe I planche IO).

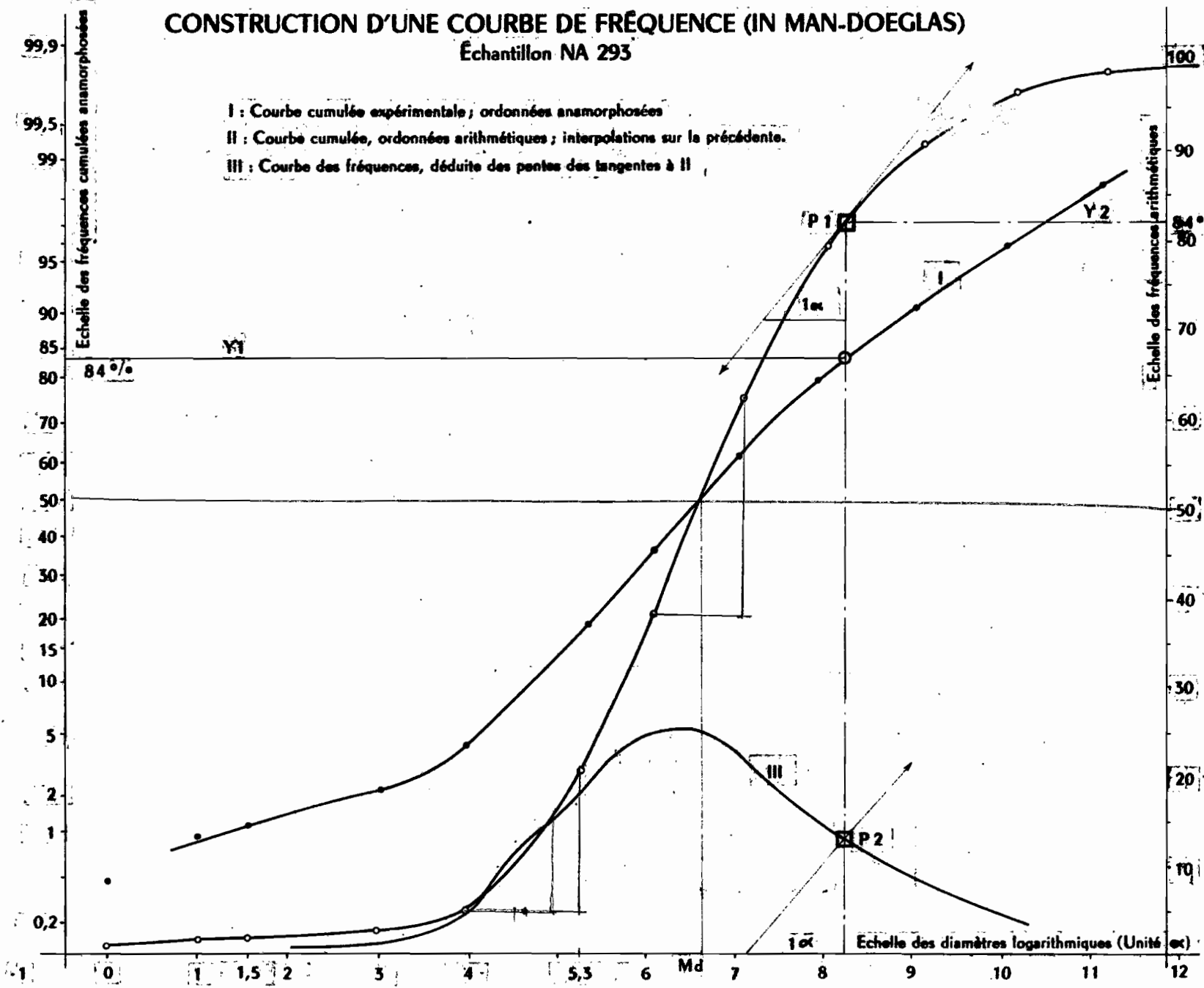
- La courbe des fréquences cumulées en ordonnées arithmétiques (courbe II) d'où l'on tire graphiquement la médiane et les indices de tri, d'asymétrie, d'acuité; on déduit également, graphiquement, de cette courbe cumulative, une courbe de fréquence (courbe III), et le mode (cf Planche IO).



## CONSTRUCTION D'UNE COURBE DE FRÉQUENCE (IN MAN-DOEGLAS)

Échantillon NA 293

- I : Courbe cumulée expérimentale ; ordonnées anamorphosées
- II : Courbe cumulée, ordonnées arithmétiques ; interpolations sur la précédente.
- III : Courbe des fréquences, déduite des pentes des tangentes à II



Les résultats ont été dépouillés et comparés en utilisant simultanément deux méthodes graphiques :

- la recherche de familles de courbes et l'établissement de courbes moyennes : il a été constaté en effet que les courbes de fréquence se groupaient en un petit nombre de familles; les courbes de fréquences cumulées correspondantes forment un faisceau de courbes à peu près semblables; la courbe de fréquence moyenne se déduit de la courbe moyenne du faisceau.

- l'étude des relations entre indices; en portant sur un graphique des points dont les coordonnées sont fournies par deux des indices granulométriques on relève des groupes de points voisins formant plusieurs ensembles distincts.

b/ Résultats obtenus : Lois générales de variation

- Groupes de points. C'est la relation graphique entre le mode et le tri (: coefficient d'écart interquartile, qui s'est avérée la plus intéressante, en y ajoutant un classement des points suivant leur assymétrie. Cette relation fait apparaître deux grands ensembles dans les matériaux sableux (Planche I2) :

- d'une part, les sables à coefficient d'écart interquartile supérieur à 1,60, à mode supérieur à 0,20 mm et à faible assymétrie.

- d'autre part, les sables à finesse, tri et assymétrie variant simultanément et progressivement : les granulométries les plus fines étant à la fois les mieux triées et les plus symétriques.

- Courbes moyennes On obtient également deux ensembles de courbes (cf Planche 11 Fig 20 et 21).

- le premier est formé de courbes plates, souvent rectangulaires, irrégulièrement plurimodales et dont l'amplitude de variations est celle de l'ensemble de toutes les courbes (courbes 1 à 5 des figures 20 et 21).

Fig. 1 : COURBE DE FRÉQUENCE

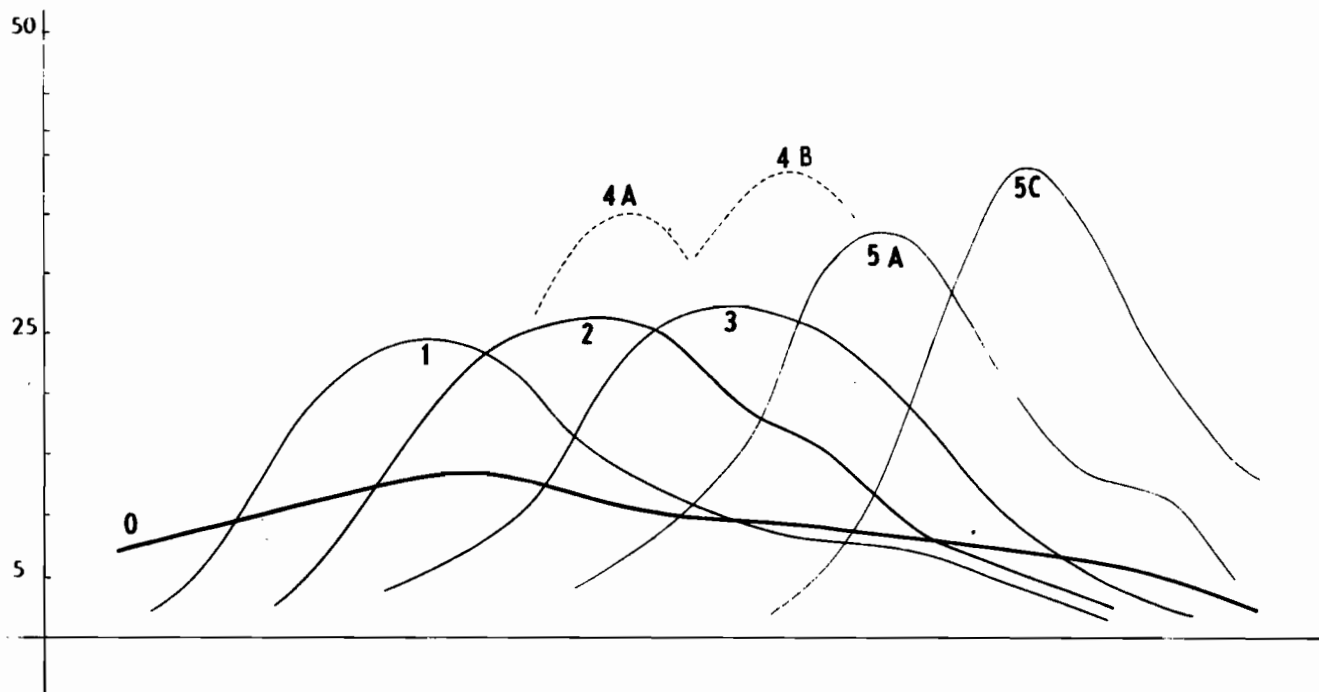
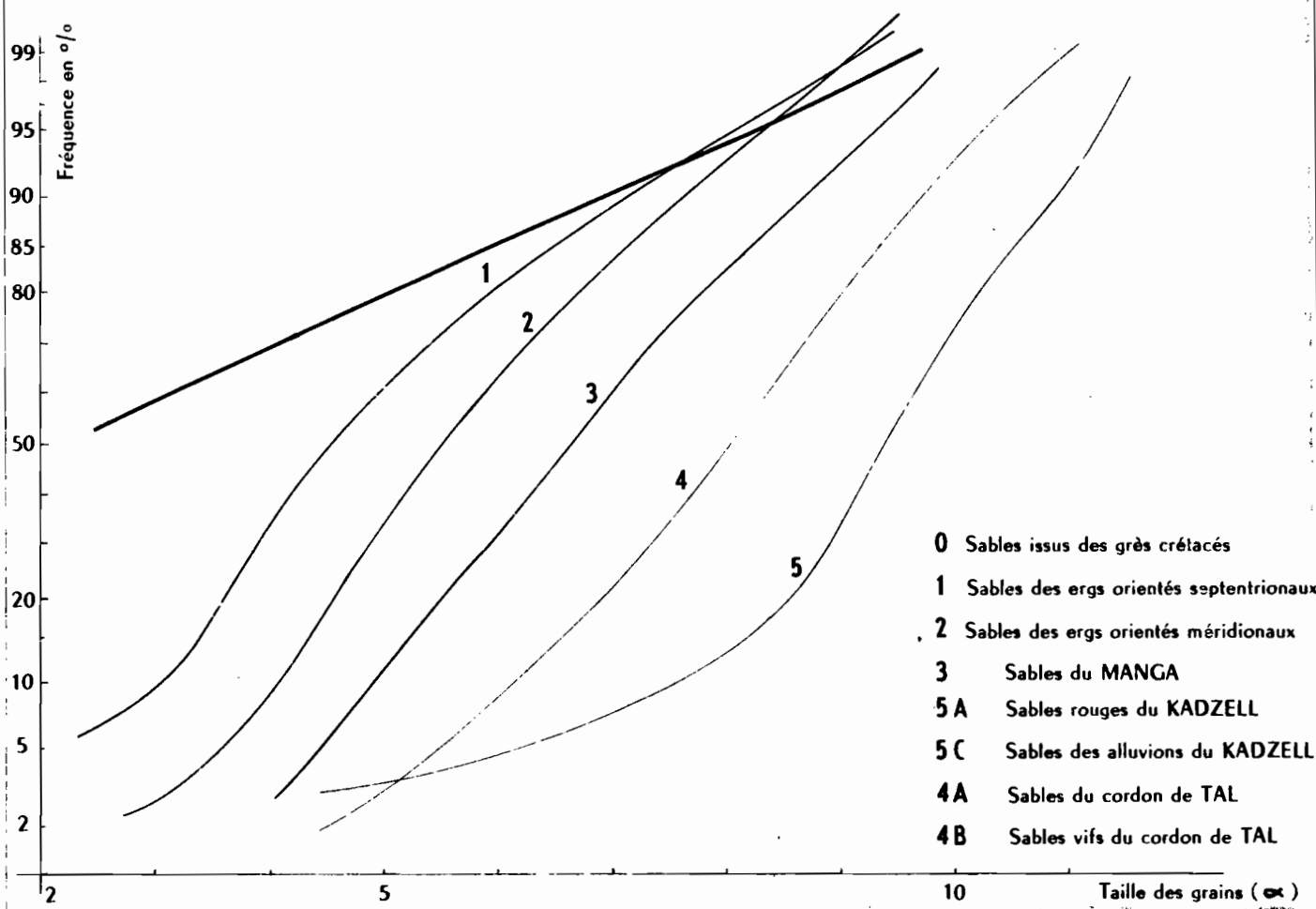
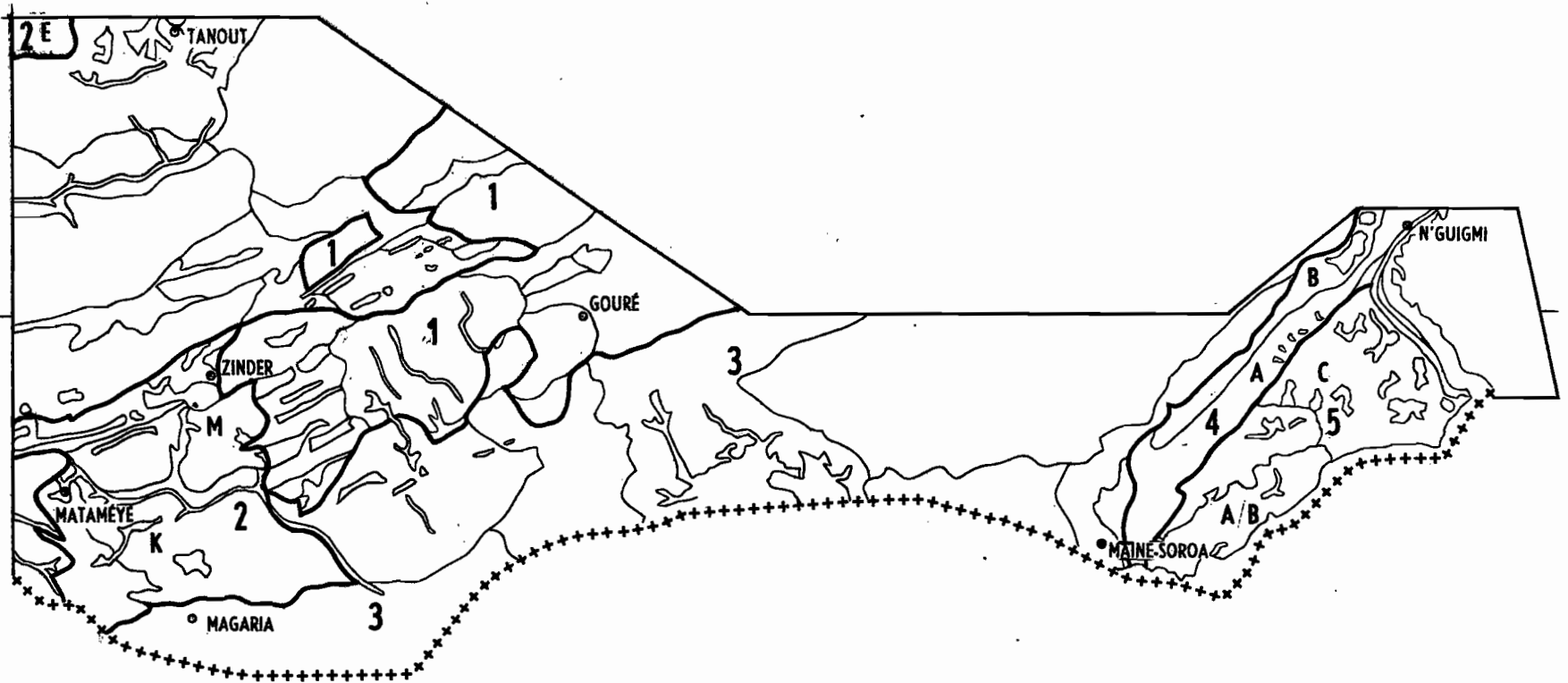


Fig. 2 : COURBES CUMULATIVES



# ÉTUDE GRANULOMÉTRIQUE DES SABLES RELATION TRIMODE/ASSYMETRIE DES PRINCIPALES FORMATIONS SABLEUSES

Fig. 27



## Définition des Formations sableuses

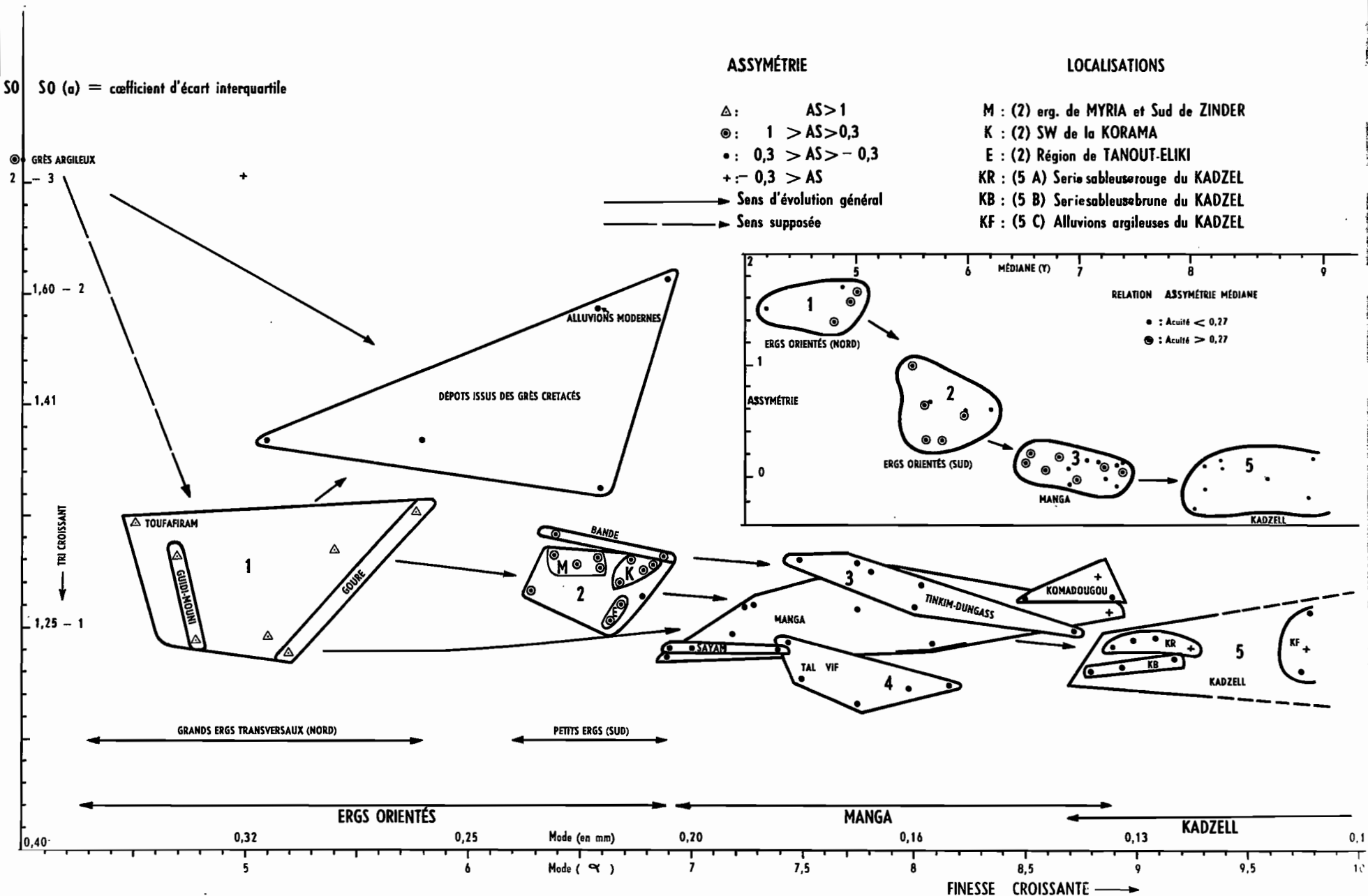
### Les Formations sableuses principales (cf Planche I2)

Au premier ensemble de points et de courbes correspondent divers dépôts issus des grès continentaux du bord Nord de la cuvette Tchadienne, qui vont de dépôts alluviaux modernes à des niveaux d'altération ancien de grès argileux.

Le second ensemble correspond à la couverture sableuse proprement dite, dans laquelle peuvent être définies les formations suivantes :

- Formation des ergs orientés : courbes à asymétrie positive, à mode compris entre 0,20 et 0,35 mm; cette formation est elle-même subdivisée en
  - : Sous formation des grands ergs transversaux du Nord-Est (cf Planche I2 N° 1) Ce sont les sables des grands ergs de Goure-Guidimouni et de Toufafiram : Le coefficient d' asymétrie est supérieur à 1, le mode supérieur à 0,25 mm le coefficient d'écart est compris entre 1,23 et 1,41.
  - : Sous formation des petits ergs du Sud-Ouest (N°2) : Ce sont les sables des ensembles dunaires plus morcelés et à formes moins puissantes, qui encombrent le fond ou les bordures des vallées du système de la Korama (région de Myria, Gankio, Sud de Zinder, région Kafin Baka-Gocholo : le coefficient d' asymétrie est compris entre 1 et 0,3, le mode entre 0,20 et 0,25; le coefficient d'écart interquartile entre 1,35 et 1,25.
- Formation du Manga : (N°3) ce sont les sables qui séparent le grand erg de Gouré du cordon de Tal, le grand erg de Guidimouni de la région de Malwa. L' asymétrie est comprise entre 0,2 et 0,3, le mode 0,20 et 0,13mm, le coefficient d'écart entre 1,33 et 1,21.
- Formation du Kadzell (N°5) : sables bruns ou rouges du Kadzell, l'asymétrie est comprise entre 0,2 et 0,3, le mode 0,12 et 0,13mm, le coefficient d'écart entre 1,25 et 1,20.

# GROUPES GRANULOMÉTRIQUE DES SABLES (RELATION TRI/MODE)



Les Formations sableuses secondaires

- Formation de Bande : sables de sols rouges du plateau de Bande; leur courbe a la forme de celle des petits ergs N°2 dont elle ne diffère que par un coefficient de tri plus élevé (1,35) (Planche I3 Fig 23).
- Formation de Tinkim-Dungass (Planche I2 N°3) : sables des sols rouges près de la frontière nigérienne au Sud de MAGARUA; leur courbe à la forme de celle des sables du Manga (N°3) dont ils se distinguent par un coefficient d'écart plus élevé, à mode égal.
- Formation de la terrasse de Sayam et du cordon de Tal : (Planche I2 N°4) on peut résumer ses caractères en disant que sa finesse est celle des sables du Manga et son tri celui des sables du Kadzell.
- Formation d'Eliki : ensablements de la région de Tanout et couverture sableuse du plateau cuirassé; ses caractéristiques sont celles des petits ergs (Planche I2 N° 2)
- Les Sables de dépôts non exclusivement sableux

Le cas des dépôts issus de grés continentaux a déjà été envisagé. Les sables des dépôts argileux du Kadzell ne diffèrent de ceux de la formation sableuse du même nom que par une finesse plus grande (mode égal ou inférieur à 0,1mm).

- Ensembles pédo-morphologiques sans homogénéité granulométrique

- Dunes longitudinales Zinder Nord-Garagoumza; (Planche I3. Fig.25); la forme de la courbe granulométrique de base semble être celle des grands ergs, mais certains sommets de dune donnent des courbes à symétrie négative, souvent plus aplaties, les sables d'int rdunes ont une granulométrie intermédiaire entre celle des grands ergs et celle des dépôts sur grés continentaux.
- Dépôts de la Komadoukou (Planche I3 Fig 24) ensemble de sables et de dépôts variablement argileux dont le caractère commun est un coefficient de tri de l'ordre de 1,35; en principe les dépôts sableux localisés près des berges ont une symétrie positive; c'est l'inverse pour les dépôts plus fins et plus éloignés de la rivière.

### Variations au sein des formations sableuses

En comparant des prélèvements de zones hautes dans les ergs, on a constaté que les courbes conservaient leur forme et leur position et différaient surtout par leur tri, les courbes de zones basses (**interdune**) correspondant au tri le plus poussé (Planche I3 Fig 26). Dans le Manga ~~ce~~ sont au contraire les sables plaqués contre les petits massifs granitiques qui dominent les plateaux sableux au Nord de Guidimouni qui ont bénéficié d'un tri très poussé, comparable à celui des sables du cordon de Tal, tout en conservant le mode des sables du Manga (Planche I3 Fig 27).

#### c/ Interprétations des résultats - Interprétation générale

L'examen des courbes de fréquences cumulées montre que chaque courbe se déduit de la précédente par élimination progressive des sables grossiers. Comme ces courbes se succèdent dans l'ordre même des formations sableuses dans le bassin tchadien (d'amont en aval : ergs, Manga, Kadzell), il est vraisemblable que la couverture sableuse dérive d'une masse commune par tri de plus en plus poussé vers le centre de la cuvette.

Dans le Sud du bassin on observe une succession parallèle de sables légèrement moins bien triés, à mode égal (Bandé et Tinkim).

#### - Cas particuliers -

Ce sont des variations dans l'action éolienne qui provoquent des variations de tri sans modification de position des courbes. La variation granulométrique entre points hauts et points bas de la même formation ~~dunai-~~re n'a pas partout le même sens. (ALIMEN).

En extrapolant ces résultats, on peut admettre que les sables du cordon de Tal dérivent par tri éolien plus poussé des sables du Manga. De même les sables à sols bruns du Kadzell proviennent des sables à sols rouges.



## ÉTUDE GRANULOMÉTRIQUE DES SABLES

### COURBES DE FRÉQUENCES DES FORMATIONS SABLEUSES SECONDAIRES

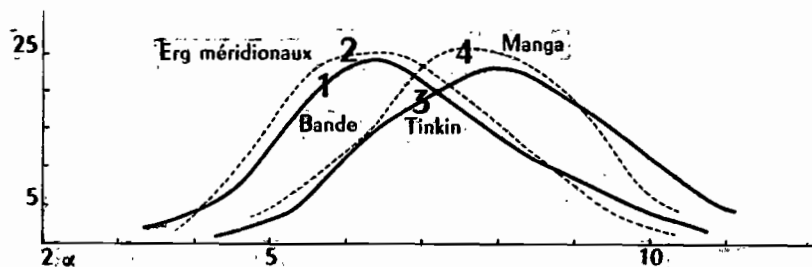


Fig. 23 Sables de BANDE-TINKIM comparés aux grandes formations sableuses (2 et 4).

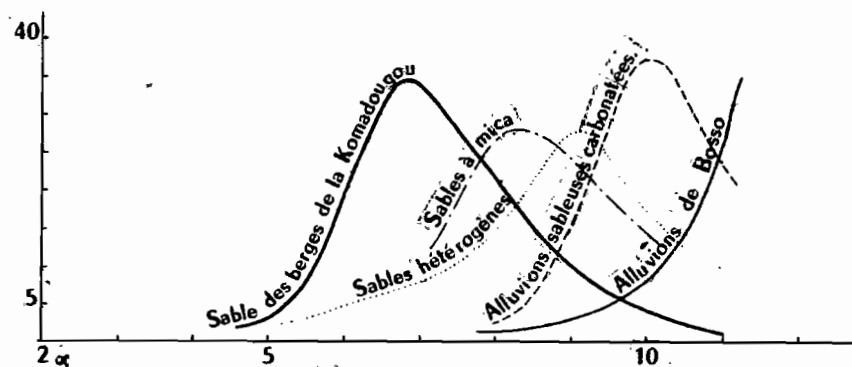


Fig. 24 Sables alluviaux de la Komadougou.

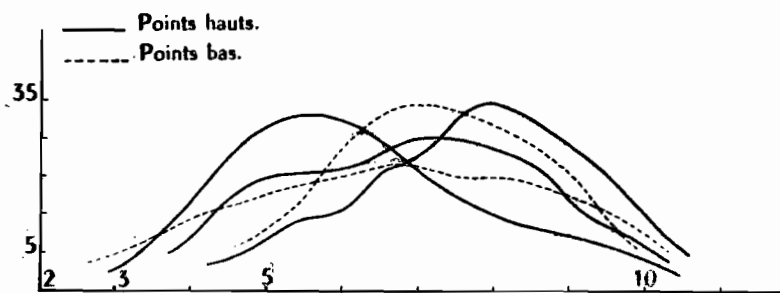


Fig. 25 Alignements dunaires longitudinaux du Nord de Zinder.

### VARIATIONS LOCALES DE LA GRANULOMÉTRIE DANS LES FORMATIONS SABLEUSES DES ERGS ANCIENS ORIENTÉS

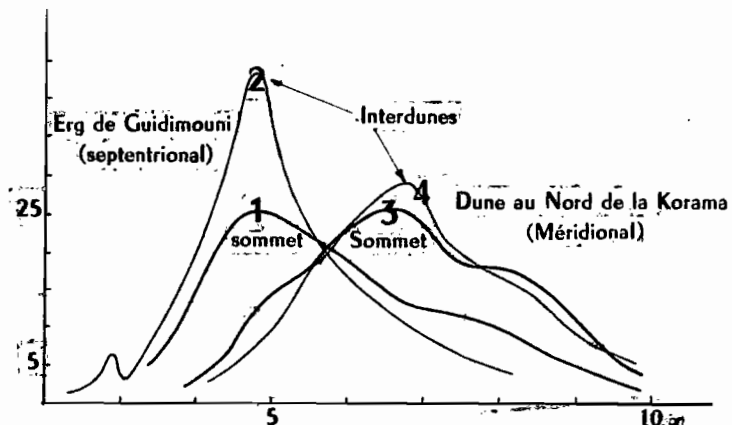


Fig. 26 Granulométrie comparée des sables de sommet (1 et 3) et d'interdune (2 et 4) dans deux ergs.

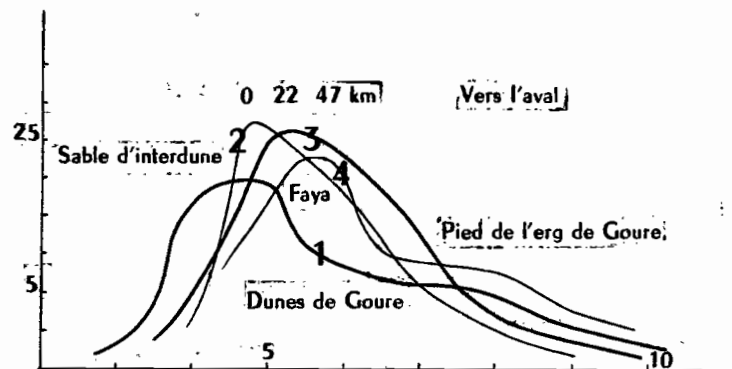


Fig. 27 Granulométrie comparée des sables : 1 - 2 - De la partie centrale de l'erg de Gouré 3 - De la frange Ouest 4 - D'une dépression (Faya) située à l'aval dans le Manga.

L'hétérogénéité des sables des dunes longitudinales du Nord de Zinder doit être rapportée, dans l'hypothèse générale d'une origine locale des sables, à celle des matériaux aux dépens desquels ils se sont formés.

L'hétérogénéité des sables de la Komadougou est celle des dépôts fluviatiles, avec deux types de matériaux :

- les uns formés des fractions grossières
- les autres des fractions fines, situés plus loin du lit.

#### 22-2 Reconnaissance morphoscopique des sables :

Une reconnaissance morphoscopique rapide a été effectuée sur les échantillons de l'étude granulométrique. Une étude plus détaillée sera entreprise ultérieurement. La technique utilisée visait à **caractériser chaque échantillon par la composition minéralogique, la forme des grains, l'état de surface et la coloration de ceux-ci.**

- Composition minéralogique - Mis à part quelques sables alluviaux du KADZELL et de la bordure du lac Tchad qui renferment des micas et des débris de feldspath tous ces échantillons sont presque **exclusivement** constitués de grains de quartz auxquels peuvent s'ajouter quelques granules d'hydroxydes.

- Forme des grains de quartz : Ce sont les formes arrondies qui dominent largement, avec des proportions parfois importantes de grains subémoussés, mais les grains typiquement ovoïdes à sphériques ne sont que très rarement dominants : ces derniers sont les plus fréquents dans la formation sableuse des ergs anciens orientés.

- Etat de surface - Les plus fréquents ont le "picoté luisant" et le "luisant" qui dominent dans les formations sableuses du MANGA, de Bandé et de TINKIN-DUNGASS. L'aspect mat, associé à la forme sphérique des grains, ne domine jamais mais est généralement présent dans les sables des ergs anciens orientés, en bordure de la cuvette tchadienne.

- Coloration - Elle est extrêmement variable. On note cependant des enduits ferrugineux plus fréquents et abondants sur les sables des ergs orientés et sur ceux du Kadzell.

Mis à part certains sables du KADZELL d'origine alluviale, un certain nombre de caractères morphoscopiques sont communs aux autres formations sableuses et laissent supposer une origine commune des sables pour cette partie du bassin tchadien. Les actions hydriques semblent avoir été prépondérantes et leur façonnement persiste dans les formations sableuses de la cuvette (Manga, Bandé, Tinkim), alors que les traces d'un remaniement éolien sont surtout manifestés dans la formation des ergs orientés.

### B 2-3 : PROPRIETES ANALYTIQUES DES MATERIAUX ORIGINELS

#### 23-1 : Les textures :

Le caractère distinctif majeur est le taux des fractions fines, argile et limon (A + L-planche I4).

Inférieur à IO il caractérise les formations sableuses précédemment étudiées. Il prend les valeurs les plus basses (moins de 2%) dans la formation sableuse du Manga et celle des petits ergs du Sud-Ouest, autrement dit sur toute la surface des extensions lacustres 2 et 3, cordon de Tal compris, actuellement occupée par des sols peu évolués. Les sables les plus riches en fractions fines sont ceux des grands ergs orientés (4%), de Bandé (7%) et du Kadzell (5%). Nous en concluons que le tri de plus en plus poussé qui s'est effectué vers le centre de la cuvette a eu pour résultat d'éliminer à la fois les fractions grossières et fines de la granulométrie (fig.28) jusqu'à la réapparition de colloïdes minéraux dans le Kadzell, qui est vraisemblablement due à une mise en place fluviatile plus récente de ses dépôts. Il n'est pas possible de trouver de loi de variation du rapport limon sur argile (L/A) dans ces formations; pour l'ensemble des échantillons il varie de 6 à 0,1 la moyenne étant de 0,4.

Au-dessus de 10% il est nécessaire d'utiliser le rapport limon sur argile pour séparer les matériaux (fig.29). Ce paramètre dépend à la fois des conditions de transport et d'altération de la zone climatique. La couverture colluviale et proluviale et les rares produits d'altération des roches sédimentaires et cristallines de la bordure Nord-Ouest du bassin Tchadien sont caractérisés par un L/A de l'ordre de 0,5 et des taux d'argile compris le plus souvent entre 20% et 40%. Les matériaux sur roches argileuses du Damergou se distinguent par des taux d'argile plus élevés, n'atteignant pas toutefois 60% et une faible variabilité du rapport L/A (0,3 à 0,5); cette homogénéité est avant tout celle des formations sédimentaires, mais elle est préservée par les conditions de mise en place subaride qui tendent précisément à de telles granulométries. Inversement l'hétérogénéité des grés continentaux crétacés se retrouve dans leurs produits : L/A varie de 0,1 à 0,9; mais on observe déjà une forte homogénéisation sur les zones à couverture pédologique ancienne (sols ferrugineux tropicaux lessivés héritiers) où ce rapport se maintient entre 0,1 et 0,25. Dans les arènes des granites alcalins et calcoalcalins du Damergam L/A est sensiblement plus faible que dans les argiles sableuses gonflantes formées sur roches métamorphiques calco-magnésiennes dans les mêmes régions 0,25 contre 0,4.

Les formations alluviales de la cuvette tchadienne se divisent aisément en deux groupes : d'une part les dépôts situés au-dessus de la cote 300m (extensions 2,3,4), d'autre part le complexe alluvial Komadougou-Kadzell. Les premiers (fig 30) sont caractérisés par une accumulation de la fraction limoneuse culminant morphologiquement dans les limons en plaquettes et les argiles limoneuses à hydroxydes, et géographiquement dans les dépôts du cordon de Tal. Les limons en plaquettes sont argilo-sableux à argilo-limoneux, avec L/A variant de 0,75 à 1,20. Les argiles limoneuses sont argilo-sableuses à sablo-limoneuses avec L/A de 0,8. Ces faciès caractéristiques à la granulométrie desquels on peut assimiler celles des diatomites (dépôt sablo-limoneux à L/A de 2,1) et des calcaires pulvérulents sont intersratifiés avec des sables fins variablement argileux formant la majeure partie des dépôts; leur L/A le plus fréquent est de 0,5, leur texture la plus fréquente sablo-argileuse; il existe toutefois quelques dépôts d'argiles gonflantes en bordure Ouest du Mounio, dans la région de Dungass, dans les sillons de Maine Soroa.

# TEXTURE DES MATÉRIAUX ORIGINELS

Fig. : 29

TEXTURE DES MATÉRIAUX DU BASSIN NORD-OUEST DE LA CUVETTE TCHADIENNE ET DE LA COUVERTURE SABLEUSE AU-DESSOUS DE LA COTE 300 m

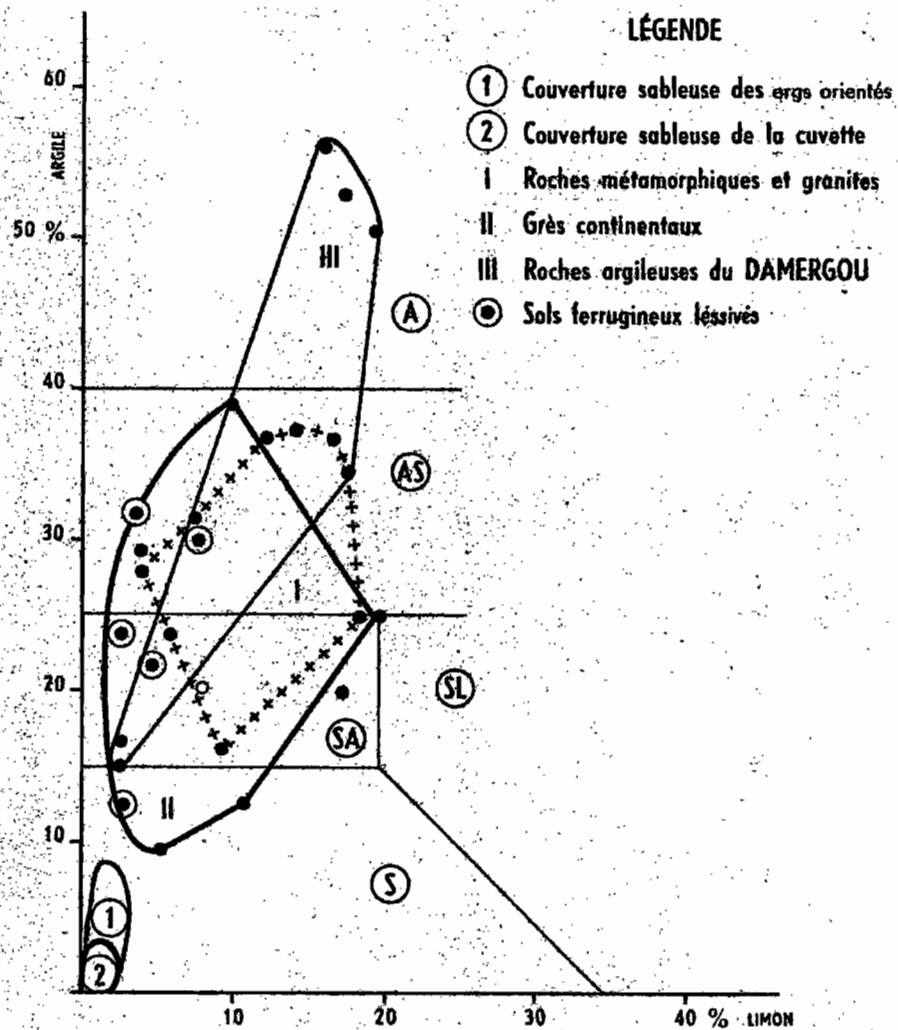


Fig. : 28

TAUX DES FRACTIONS FINES DE LA COUVERTURE SABLEUSE

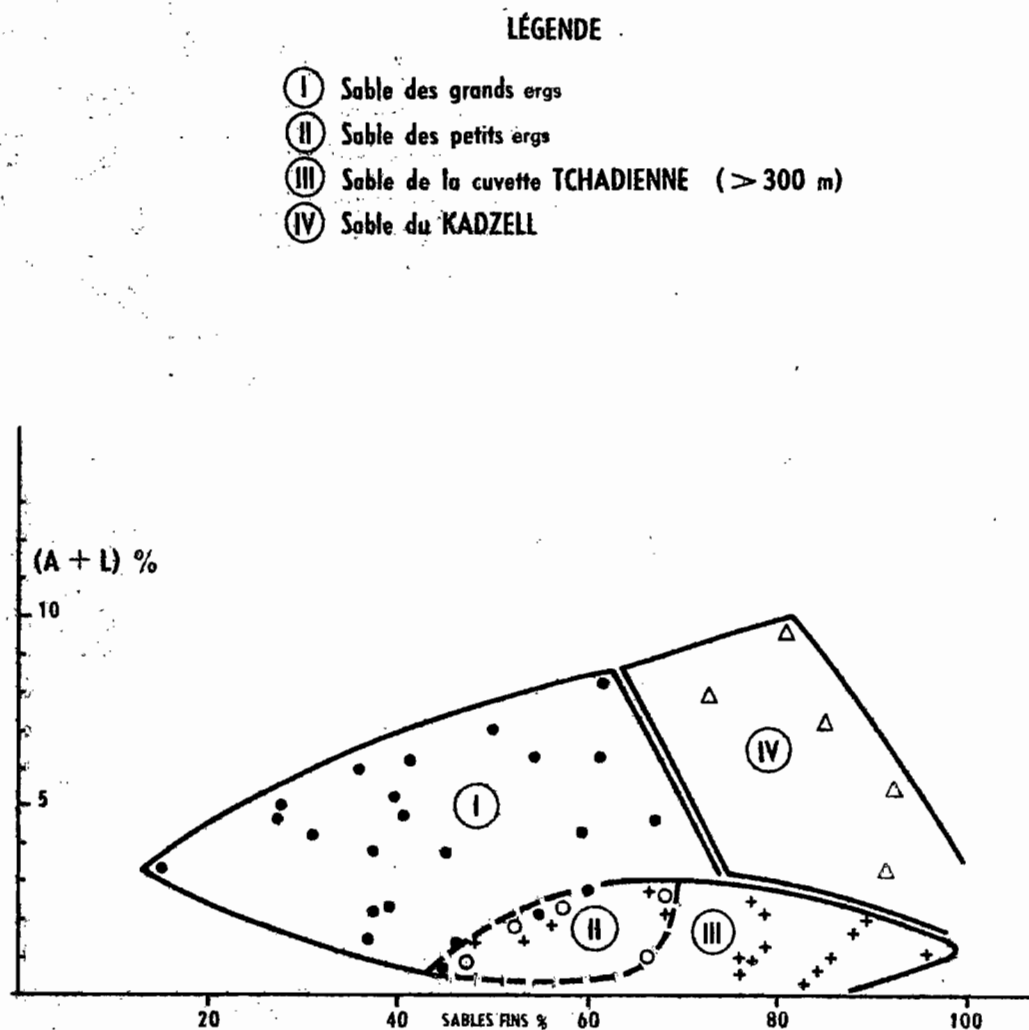


Fig. : 30

TEXTURE DES DÉPÔTS DE LA CUVETTE TCHADIENNE  
AU-DESSUS DE LA COTE 300 m

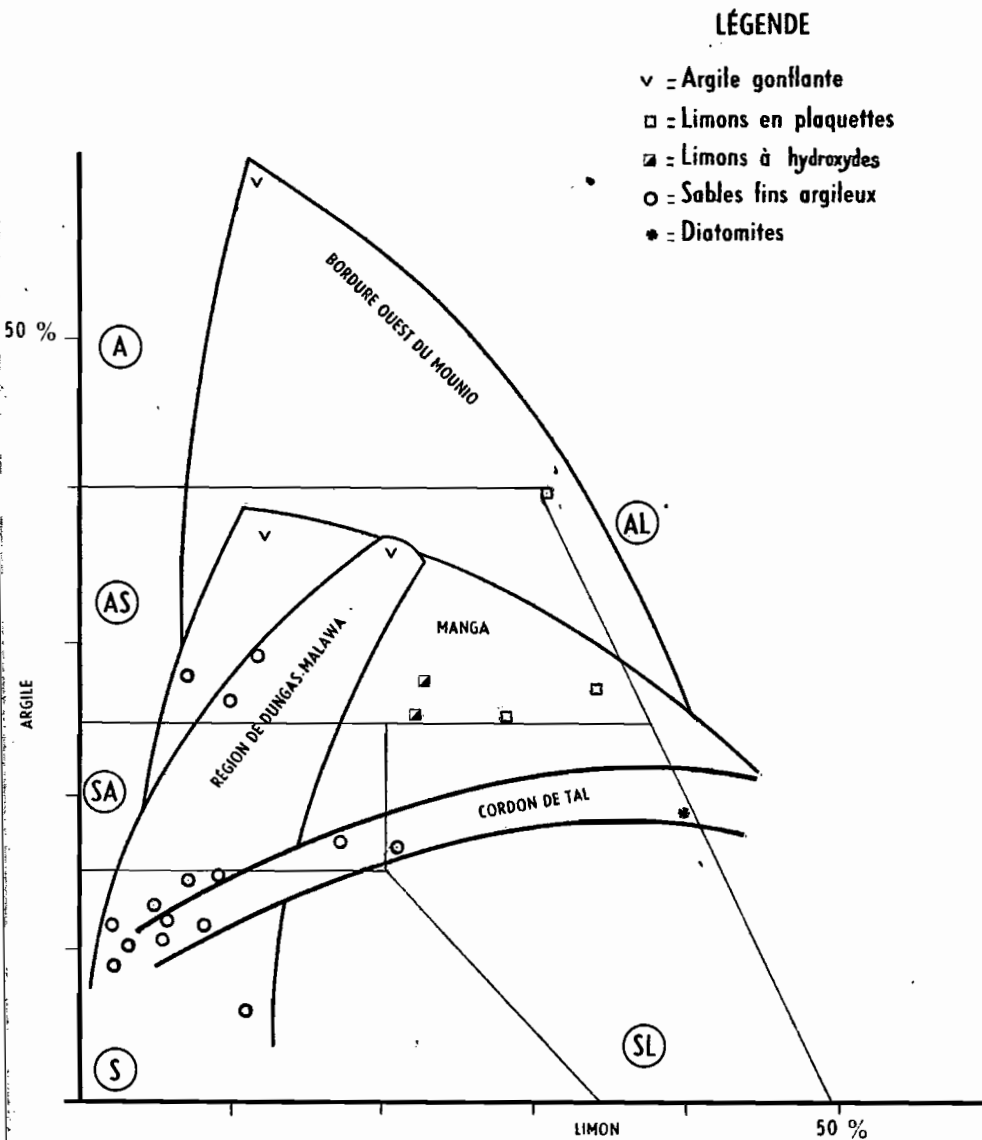
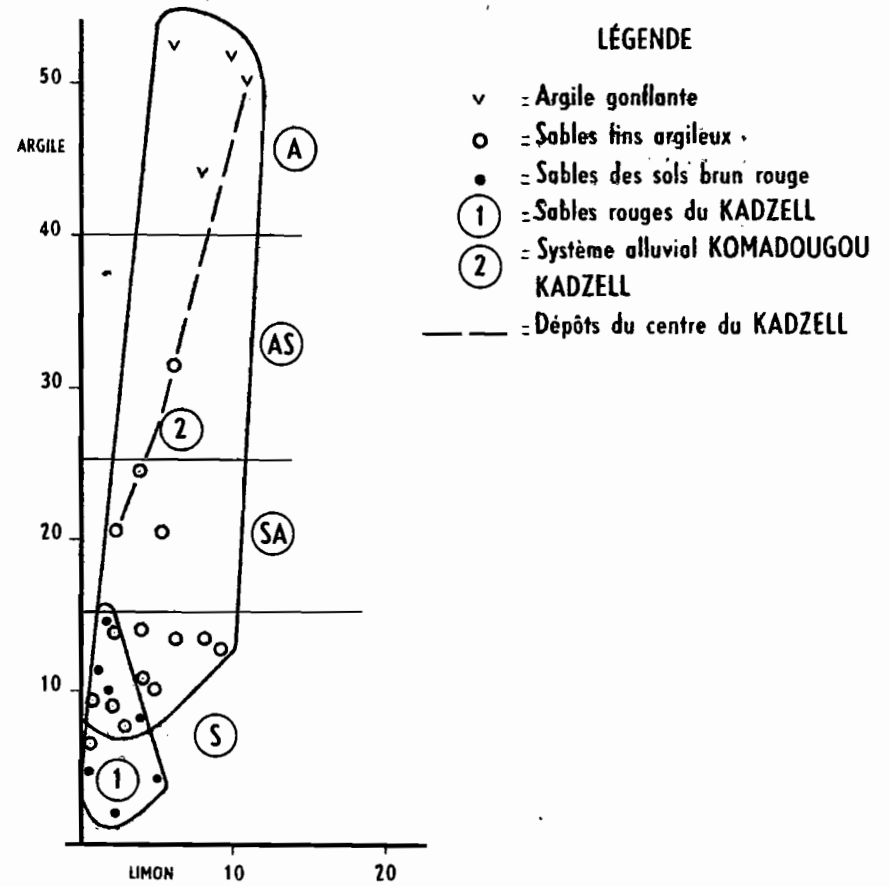


Fig.:31

TEXTURE DES DÉPÔTS DE LA CUVETTE TCHADIENNE  
AU-DESSOUS DE LA COTE 300 m



Inversement le complexe alluvial Komadougou-Kadzell (fig.3I) est caractérisé par des L/A très petits : 0,1 à 0,4, lorsque le taux d'argile dépasse 15%. Il forme une série continue allant des sables rouges de Diffa aux argiles gonflantes de Geskerou, les types les plus fréquents étant sablo-argileux.

### 23-2 Les capacités d'échange (T) (Planche I5)

La capacité d'échange des matériaux, dépourvus de colloïdes organiques, est proportionnelle aux taux d'éléments fins, essentiellement celui de l'argile, selon un coefficient (T/A ou T/A+L) dépendant de leur nature minéralogique. Cette dernière est fonction elle-même de la roche mère et des types d'altération.

Lorsque la somme A + L est inférieure à 10% il n'est pas possible de mettre en évidence de variations spécifiques du rapport T/A+L pour les diverses formations sableuses car on est proche de la limite de sensibilité des analyses (Fig.34). De même la corrélation entre la capacité d'échange et le taux de fraction fine est affaiblie ( $r = 0,55$ ); elle est toutefois suffisante pour suivre la décroissance de la capacité d'échange depuis les formations anciennes (2 méq). Parmi les capacités des formations anciennes celles des sables rouges de Bandé sont les plus fortes (7 méq), celles des dunes décolorées de Toufafiram les plus basses (1 Méq), parmi les formations récentes, les sables rouges du Kadzell se distinguent encore par des chiffres plus élevés : 2,8 méq.

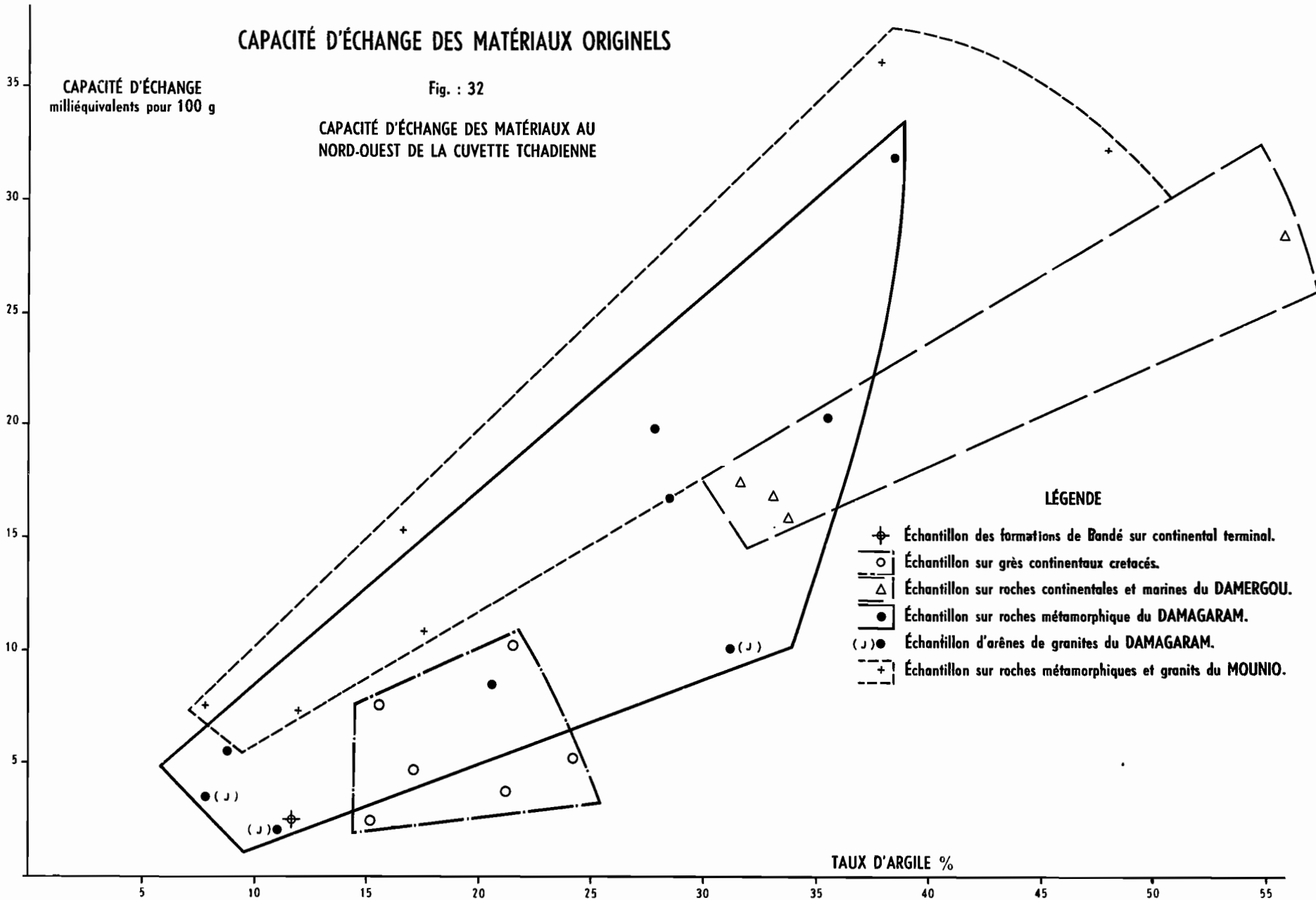
Dans la couverture non sableuse de la bordure du bassin les valeurs de T/A dépendent essentiellement de la nature de la roche mère : (Fig.32)

- sur grès continentaux (kaolinite dominante) : 0,17-0,50
- sur dépôts marins du Damergou (Illite montmorillonite) : 0,50-0,55
- sur granites alcalins et calco-alcalins (Kaolinite-Illite) : 0,18-0,30
- sur roches métamorphiques calco-magnésiennes (Montmonrillonite) : 0,85-0,95

CAPACITÉ D'ÉCHANGE DES MATÉRIAUX ORIGINELS

Fig. : 32

CAPACITÉ D'ÉCHANGE DES MATÉRIAUX AU  
NORD-OUEST DE LA CUVETTE TCHADIENNE



LÉGENDE

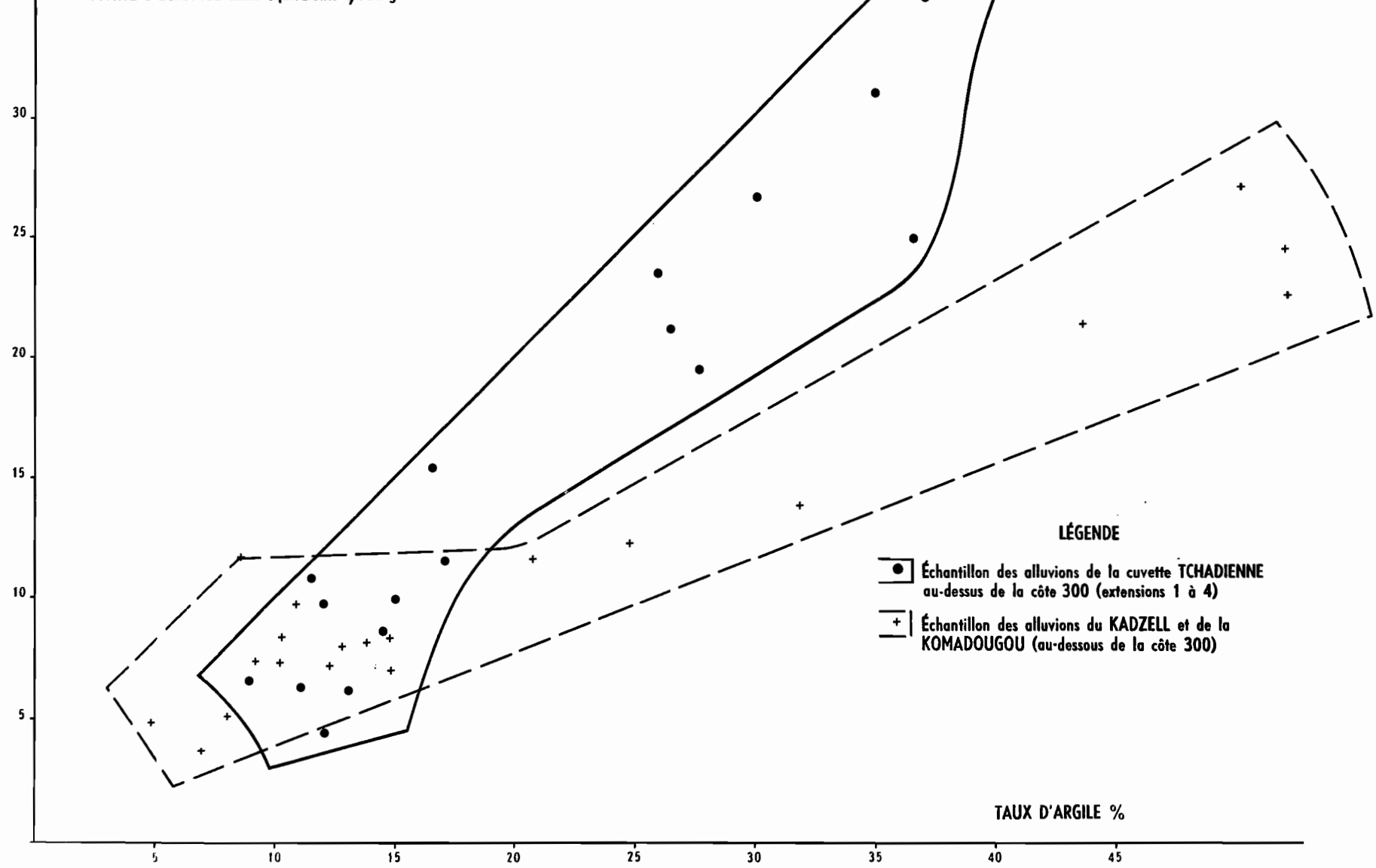
- ◆ Échantillon des formations de Bandé sur continental terminal.
- Échantillon sur grès continentaux cretacés.
- △ Échantillon sur roches continentales et marines du DAMERGOU.
- Échantillon sur roches métamorphique du DAMAGARAM.
- (●) Échantillon d'arènes de granites du DAMAGARAM.
- + Échantillon sur roches métamorphiques et granits du MOUNIO.



CAPACITÉ D'ÉCHANGE DES DÉPÔTS DE LA CUVETTE TCHADIENNE

Fig. : 33

CAPACITÉ D'ÉCHANGE milli. équivalents /100 g



LÉGENDE

- Échantillon des alluvions de la cuvette TCHADIENNE au-dessus de la côte 300 (extensions 1 à 4)
- + Échantillon des alluvions du KADZELL et de la KOMADOUGOU (au-dessous de la côte 300)

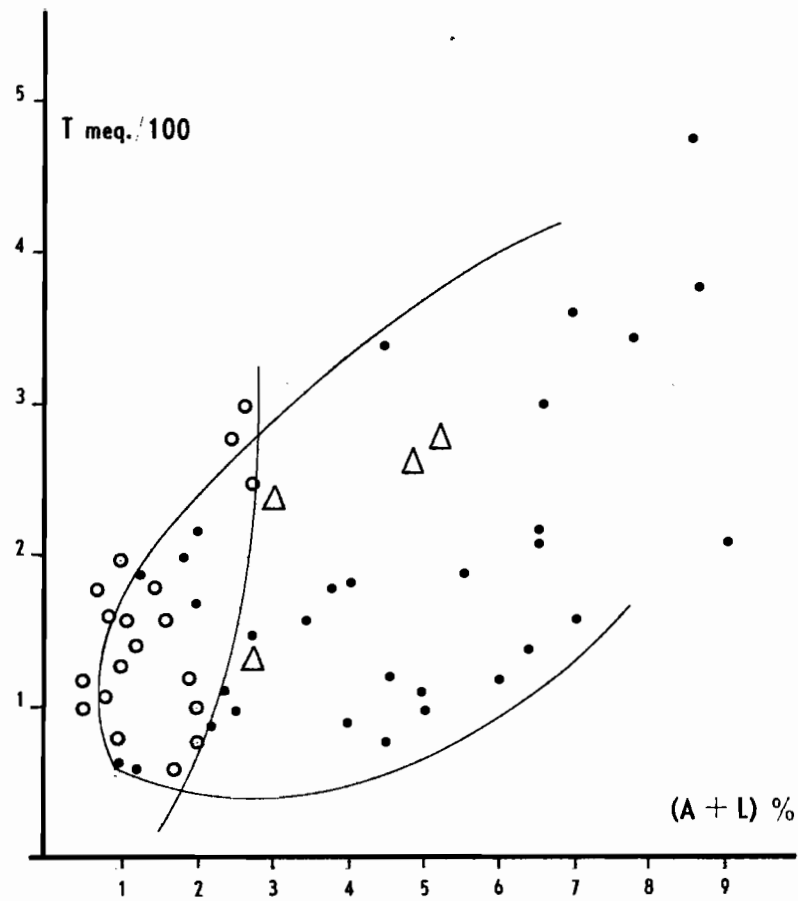
TAUX D'ARGILE %

Fig. : 34

COUVERTURE SABLEUSE

LÉGENDE

- = ergs anciens orientés
- = couverture de la cuvette TCHADIENNE
- △ = Sables du KADZELL



Les dépôts de la cuvette situés au-dessus de la cote 300m ont des capacités d'échange relativement plus élevées que celles des alluvions du Kadzell et de la Komadougou : T/A de 1,0 à 0,7 contre 0,55 à 0,44 (fig.33).

### 23-3 Le Fer :

Nous avons cherché une vérification statistique de la relation qui lie le fer aux fractions fines du sol, l'essentiel de la liaison étant dû à la sorption des hydroxydes (mesurés en principe par le fer libre) sur les argiles (D'HOORE & al.1954). Pour les trois groupes principaux de matériaux nous avons calculé le coefficient de régression, le coefficient de corrélation, le rapport le plus fréquent, liant le fer "libre" et le fer "total", au taux d'argile et de limon (couverture sableuse seulement), à la capacité d'échange.

D'un groupe d'échantillons à l'autre, les valeurs des coefficients de régression sont plus constantes que les valeurs des rapports les plus fréquents. Les matériaux de la couverture sableuse exceptés, on a obtenu les corrélations les plus fortes entre le fer total (et non le fer libre, comme prévu) et la capacité d'échange.

Les rapports les plus fréquents entre le fer libre et l'argile sont compris entre 0,08 et 0,11; ils sont du même ordre de grandeur que le taux de saturation des surfaces des argiles kaoliniques en hydroxydes de fer (0,12).

Il est probable que la presque totalité du fer des sols se trouve sous forme d'hydroxydes, imparfaitement mesurés par le fer libre, car seul ces derniers sont capables de former des liaisons avec les fractions fines. Ces liaisons sont probablement de même nature que celles qui lient hydroxydes et argile kaolinique en "complexes ordonnés" (car on obtient le même taux moyen), mais doivent probablement être étendues à des espèces argileuses différentes, car la corrélation, la plus étroite et la régression la plus constante, pour tous les matériaux est obtenue avec la capacité d'échange. On peut également conclure que les argiles de tous les matériaux sont, en moyenne, saturées en hydroxydes.

On sait que au-dessus de ce taux de saturation le fer à tendance à concrétionner. Les niveaux à concrétions macroscopiques n'ont jamais été dans ce qui précède, considérés comme matériaux. Toutefois, il existe des matériaux anormalement riches en hydroxydes dépourvus de concrétions visibles sur le terrain ce sont d'une part les argiles d'altération sur micaschistes de GAFATI (DAMAGARAM) et d'autre part les sables argileux rouges sur cuirasses de DOGO (Continental Terminal).

T A B L E A U 8

	(ARGILE + LIMON)	ARGILE %	CAPACITE D'ECHANGE méq/100g.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total %	a = 0,08 P- de 0,001 k = 0,13  R = 0,85	a = 0,07.P de 0,001 k = 0,19  R = 0,65	a = 0,15.P de 0,001 k = 0,25  R = 0,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre %	"	a = 0,05.P-de 0,001 k = 0,11 R = 0,74	a = 0,08 P = 0,03 k = 0,15 R = 0,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total %		a = 0,10.P-de0,001 k = 0,11 R = 0,77	a = 0,17.P-de 0,001 k = 0,24 R = 0,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre %		a = 0,06.P.0,01 k = 0,09 R = 0,57	a = 0,13 P de 0,001 k = 0,17 R = 0,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total %		a = 0,10 P de 0,001 k = 0,13 R = 0,84	a = 0,15 P-de 0,001 k = 0,18 R = 0,91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre %		a = 0,06 P-de 0,001 k = 0,08 R = 0,72	a = 0,12 P de 0,001 k = 0,12 R = 0,90

Signification des lettres :

a coefficient de régression  
R coefficient de corrélation  
k rapport le plus fréquent (ex : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/A)  
P seuil de probabilité.

#### 23-4 Conclusions :

En général les matériaux de la bordure du bassin tchadien Nord-Ouest ont des propriétés analytiques fortement influencées par les roches mères, et ce d'autant plus que les matériaux sont plus récents. Il n'y a pas actuellement d'homogénéisation pédologique par altération de la couverture meuble des bassins. Cette homogénéisation a partiellement eu lieu pour les sols ferrugineux fossiles sur grès continentaux, alors que les produits d'altération sur granites et roches métamorphiques ont conservé une forte individualité. La répartition géographique des matériaux non sableux est donc celle des roches :

Damergou            argiles à forte capacité d'échange.

Grès crétacés continentaux : argiles sableuses à basse capacité d'échange, amoindrie dans les sols ferrugineux fossiles, à texture homogénéisée; présence d'horizons anciens fortement enrichie en hydroxydes.

Grès du continental terminal : argiles sableuses très riches en hydroxydes et à basse capacité d'échange, d'origine ancienne.

Mounio-Damagaram : matériaux influencés par les roches les plus basiques; ces dernières produisent des argiles gonflantes à forte capacité d'échange (Mounio), très riches en hydroxydes (Damagaram); les arêtes granitiques, plus rares et plus évidemment fossiles, renferment de faibles quantités d'argile à basse capacité d'échange, et ont des taux d'hydroxydes moyens.

Dans la couverture sableuse on observe une réduction des colloïdes minéraux vers le centre de la cuvette tchadienne, entraînant une baisse simultanée de la capacité d'échange et des hydroxydes. Il existe des variations locales dans les ergs les plus anciens, ceux reposant sur grès du continental terminal étant les moins pauvres.

Les dépôts alluviaux ou lacustres de la cuvette tchadienne au-dessus de la cote 300 m sont profondément originaux, tant par leur granulométrie limoneuse que par la valeur élevée des capacités d'échange. Pour expliquer le premier point on peut admettre une contribution des poussières éoliennes aux dépôts lacustres, pour expliquer le second existent deux possibilités : les argiles des dépôts proviendraient soit des argiles gonflantes formées sur roche métamorphique calco-magnésienne du Mounio et du Damagaram, soit d'une néo-synthèse en milieu lacustre, salinisé.

Les dépôts du Kadzell et de la Komadougou, plus pauvres en limon et formés d'argiles à capacité d'échange plus faible, sont comparables aux dépôts fluviatiles actuels de la bande climatique du Bassin de la Komadougou (celle des sols ferrugineux lessivés).

#### B 2-4 : LES NAPIES PHREATIQUES ET LES SELS ATMOSPHERIQUES

La circulation cyclique biologique des sels dans le sol peut être modifiée par des apports contenus dans les eaux phréatiques et météoriques. Si l'apport de sels par les précipitations peut dans tous les cas être considéré comme un facteur indépendant de la pédogenèse des sols, il n'en est pas de même de ceux des nappes, dont la composition peut être modifiée par les solutions du sol, au point qu'il existe une zonalité climatique des nappes parallèle à celle des sols (SCHOELLER H.1959). Néanmoins des conditions physiques propres aux zones subarides et des circonstances géographiques particulières au NIGER Oriental réalisent une indépendance locale des nappes.

#### 24-I Les Nappes Phréatiques :

On peut appliquer aux nappes du NIGER Oriental la classification établie par KOUNINE en Asie Centrale (in SCHOELLER) :

- I - nappes des plaines de piedmont, des plaines alluviales, des zones de subsidence, contenues dans des accumulations très épaisses de sédiments meubles, ce sont des eaux souterraines à surface libre très étendue, à zone d'alimentation éloignée, à salure élevée; les alimentations locales n'interviennent que pour former des lentilles d'eau douce dans une région à eaux généralement plus salées.

- 2 - nappes des plaines structurales, à roches métamorphiques ou marines consolidées, où de nombreux aquifères, à structure semblable et de faible extension reçoivent une alimentation locale et renferment des eaux de composition variable.

C'est aux nappes de la seconde catégorie que s'applique le mieux le concept de zonalité, car elles dépendent dans leur composition des conditions locales de pédogenèse. On les rencontre dans les zones d'affleurement du socle, Mounio et Damagaram. Rares et mal alimentées elles n'ont pas d'intérêt pédologique actuel. Les horizons à gypse et nodules calcaires de la région de Myriah peuvent être interprétés comme traces de nappes anciennes, de type carbonaté et sulfaté calcique.

La nappe superficielle de la cuvette Tchadienne, possède les propriétés qui définissent les nappes des zones de subsidence. C'est une nappe continue (PIRARD 1962) alimentée sur toute sa bordure septentrionale par le système hydraulique du continental intercalaire saharien. Cet énorme réservoir, "dont les dimensions sont à l'échelle du continent africain (FAURE 1960)" se déverse dans les sables fins de la cuvette, principalement dans la région des grands ergs de bordure (Gouré), et probablement par la limite Nord du Bassin de la Korama.

Ce flux principal affleure en chapelets de petits marais orientés selon le relief de la couverture sableuse sur une ligne coïncidant à peu près avec la limite amont des sols peu évolués de la cuvette tchadienne (cote 400). Cette ceinture évaporatoire est réalimentée en eaux de drainage, de façon ponctuelle et par ruissellement au contact du socle entre Gouré et Zinder, par ruissellement et percolation et de façon plus régulière au contact des grès continentaux de Zinder à Matameye. Elle est formée d'une succession de mares natronées et de sources d'eau très douce (Guidimouni, Myriah, rebord du plateau de Bandé) drainant les lentilles d'eau pluviale perchées sur la nappe générale. Ce sont probablement les variations du volume de cette réalimentation, liée à la pluviométrie, qui sont responsables de la remontée de la nappe pendant la dernière décade, plus humide, remontée surtout visible dans le Sud du Bassin de la Korama. Il existe en outre une seconde zone de réalimentation en eaux très douces découverte par PIRARD à la frontière Nigérienne du Manga.

Elle se matérialise par une zone de petits lacs interdunaires permanents entre KARGERI et MAINE SOROA, où affleure une nappe probablement nourrie par la Komadougou en Nigéria. La nappe générale circule à faible profondeur vers le centre de la cuvette tchadienne (PL.I8) dans la couverture sableuse fine puis plonge sous les zones de colmatage fluvio-lacustres (Kadzell et région du Dungass).

#### 24-2 Les Apports de Sels Phréatiques dans la cuvette tchadienne

Les zones basses de la cuvette tchadienne renferment des dépôts salins qui vont du simple enrichissement du sol en carbonate de calcium à la croûte saline, d'autant plus abondants qu'on est plus proche des zones d'alimentation ou de réalimentation de la nappe, c'est-à-dire des zones où la nappe est le plus proche de la surface. M. PIRARD observant que les axes de dépression de la nappe coïncident avec des axes de dépression des fonds de Koris, en conclut que c'est l'évaporation qui entraîne la concentration des eaux au fur et à mesure de leur écoulement. L'examen de la composition des eaux et des dépôts salins montre que l'évaporation explique en grande partie les variations de salure (PL I6 et I7) sous la couverture sableuse, en dehors du Kadzell.

Les eaux du continental intercalaire forment un ensemble homogène bicarbonaté calco-sodique, relativement pauvre en chlore. Elle sont peu chargées; les eaux les plus diluées (4,5 méq/l) sont également très pauvres en sulfates; vers 5,5 méq/l les équilibres ioniques sont ceux des eaux les moins concentrées du Manga (6méq/l). Ces équilibres sont modifiés par élimination des carbonates de calcium et magnésium par concentration, selon deux modalités principales, dépendant de la tension du CO<sub>2</sub> de la nappe. Si elle est faible (le minimum calculé est de 0,003), le rapport SO<sub>4</sub>/CO<sub>3</sub> croît vite et il forme des eaux sulfatées sodiques; si elle est forte (le maximum calculé est de 0,03) les carbonates alcalins restent abondants et il se forme des eaux natronées. La concentration de la nappe ne dépasse pas 100 méq/l; au Manga elle est le plus souvent inférieure à 15 méq/l, et les zones d'égal concentration semblent se répartir en bandes parallèles aux lignes des anciens rivages du Tchad (PIRARD).



## LÉGENDE

- Eaux du MANGA
- 1 } Eaux phréatiques des grès crétacés
- 2 }
- 3 }
- 4 } Eaux moyennes du MANGA
- 5 }
- 6 } Mares natronées

Fig. 35 - Équilibre des cations

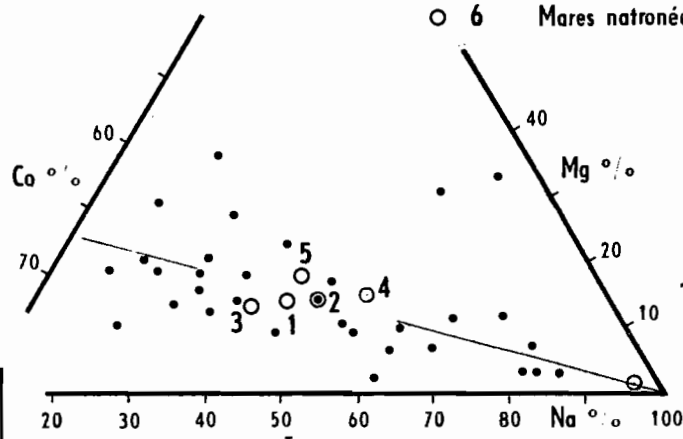


Fig. 36 - Équilibre des anions

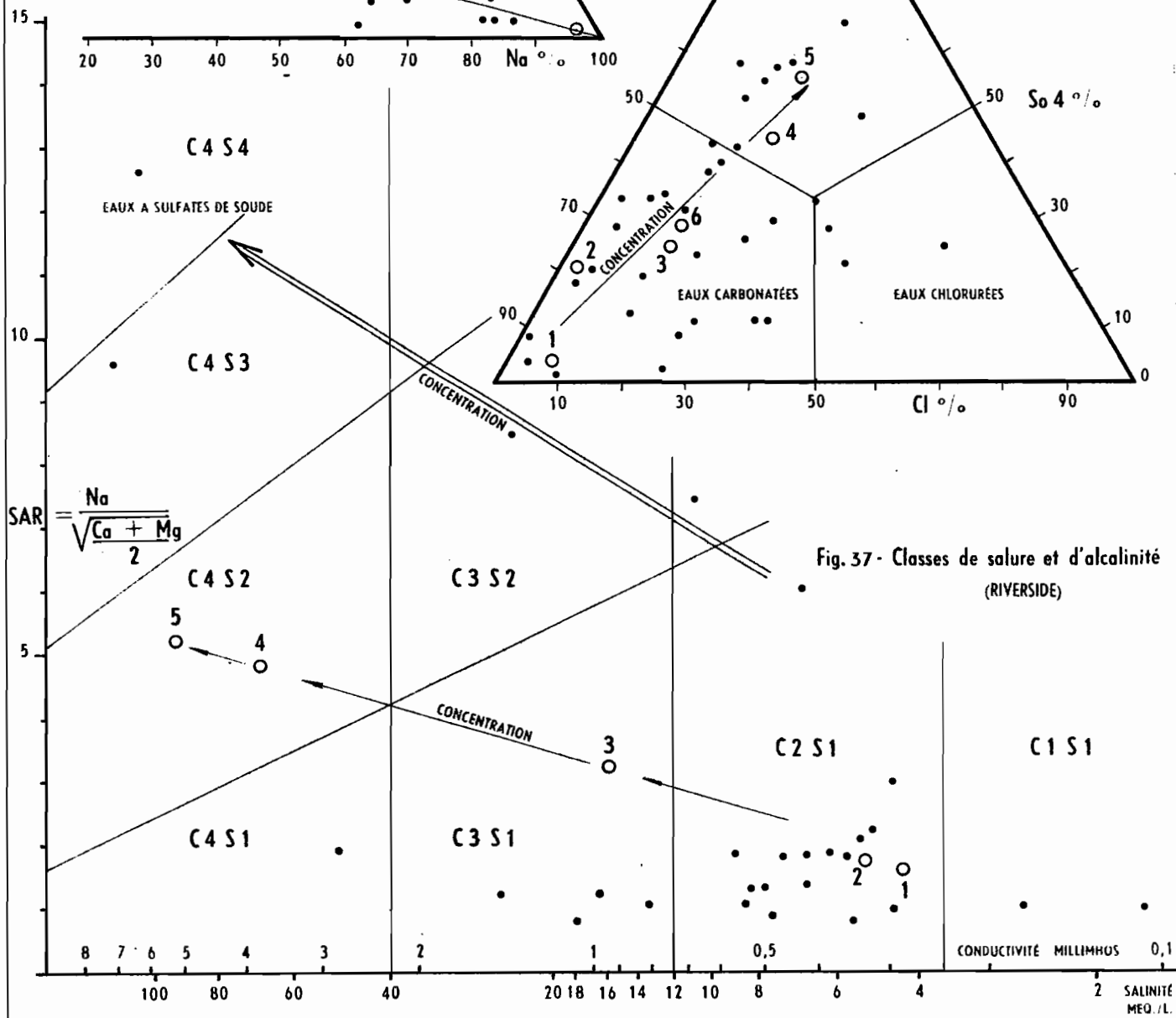
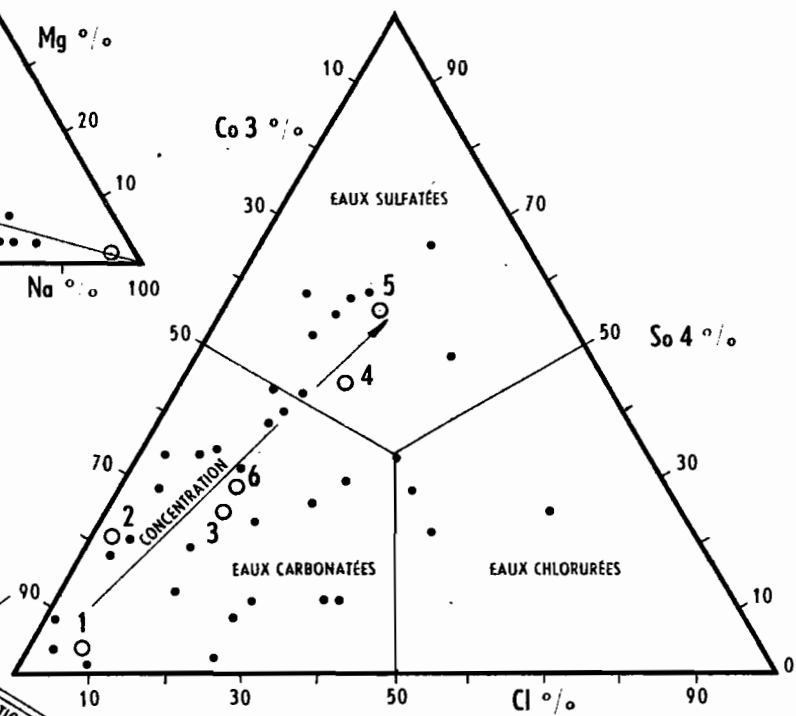
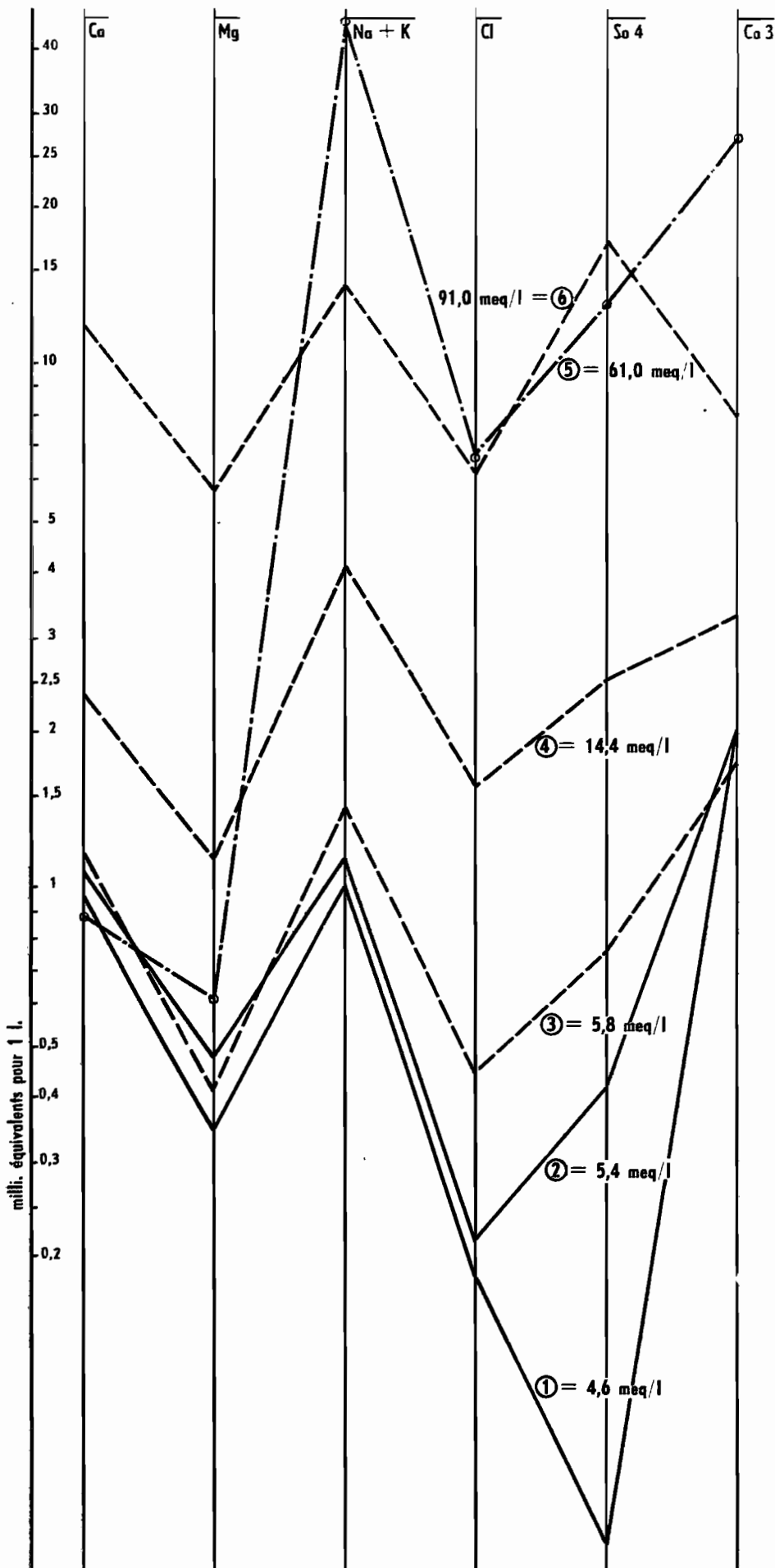


Fig. 37 - Classes de salure et d'alcalinité (RIVERSIDE)

# EAUX MOYENNES DU MANGA



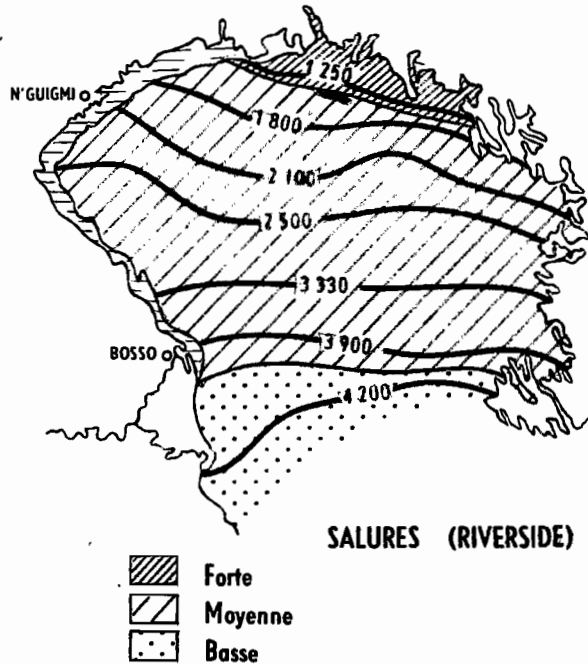
## LÉGENDE

- ① } Eaux des grès crétacés
- ② } Eaux des grès crétacés
- ③ ④ ⑤ Eaux du MANGA
- ⑥ Mares nationales

RÉSISTIVITÉ DES EAUX DU LAC TCHAD  
(Avril 1957) D'APRÈS A. BOUCHARDEAU

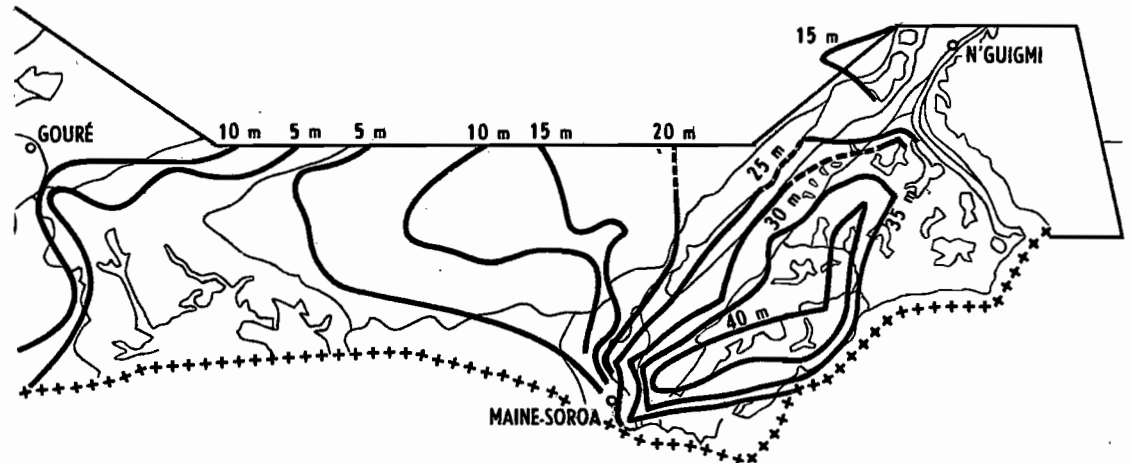
Fig. : 41

Echelle 1 / 1 000 000  
(en ohms/m)








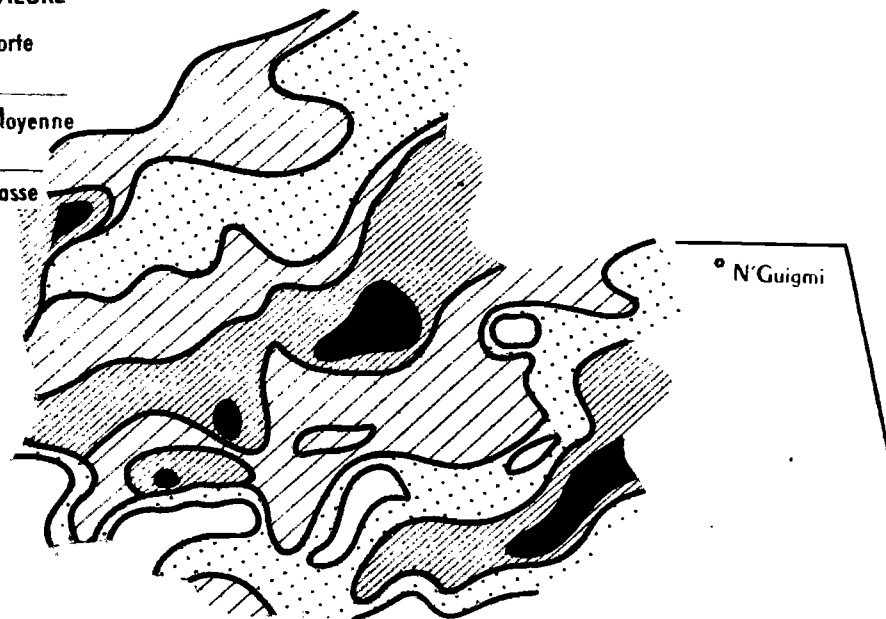
COURBES D'ÉGALE PROFONDEUR DES Puits AU MANGA  
SELON F. PIRARD

Fig. : 39



LÉGENDE

SALURE		
	< 500 $\Omega$ /m	Forte
	500-1 000	
	1 000-2 000	Moyenne
	2 000-3 000	
	> 3 000	Basse



ZONES D'ÉGALES RÉSISTIVITÉS DES EAUX DU MANGA SELON F. PIRARD

Fig. : 40

La concentration superficielle des eaux décrites ci-dessus aboutit à deux ordres de faits :

- d'une part la formation de saumures et de croûtes salines dans certaines mares temporaires; elle aboutit à une stratification de sels de la nappe : carbonate et sulfate de soude (SOULA 1950) essentiellement.

- d'autre part à la formation d'efflorescences ou de mycélium dans ou en surface des sols; il se produit une légère stratification des sels, les carbonates de calcium précipitant dans le profil, et les carbonates et sulfates de soude, en proportion dépendant de celle de la nappe, formant les efflorescences.

Il est remarquable de noter la rareté des chlorures : les eaux et saumures chlorurées sont rares et nous n'avons pas observé de dépôts chlorurés. Ce fait est dû, non seulement à la pauvreté initiale en chlore de la nappe, mais aussi à la prédominance du phénomène de concentration superficielle qui ne peut assurer la séparation des éléments solubles dans l'espace, la totalité des sels se retrouvant sur quelques centimètres. Le sel le plus soluble rencontré dans les efflorescences est le sulfate de Magnésium (Région de WACHA. PIRARD, observant la faible concentration des eaux sous les mares à lit natroné, en déduit qu'il n'y a pas retour, lors des pluies, de la totalité des sels précipités de la nappe à cause de l'imperméabilité du fond. Ce fait renforce l'indépendance de la nappe par rapport aux phénomènes de concentration locaux.

### 24-3 Les Sels Atmosphériques

Pour une pluviométrie comprise entre 250 et 500 mm ERIKSSON évaluée à 3 Kgs/ha/an les précipitations salines sur les "steppes sèches" au Sud du Sahara. Elles sont formées de chlorures et sulfates d'origine essentiellement marine en général. Ce phénomène ne prend d'importance qu'à l'échelle géologique dans les zones endoréiques; on peut calculer que cet apport est égal au 1/5.000 des sels solubles renfermés dans les sols du Manga, sur 2m, ou encore à 0,5% à 1% des cendres renfermées dans la strate herbacée en zone sahélienne.

A ces apports associés aux pluies s'ajoutent les apports associés au chutes de poussière d'origine continentale qui se produisent pendant les périodes de brume sèche. Le dépôt de la chute exceptionnellement forte de la nuit du 17/2/62 dans le Kadzell, (tableau IO), renferme environ 20% de carbonate de calcium et de magnésium. Ces sels ont la même composition que ceux que dépose actuellement la nappe dans la couche superficielle des sols. Ce fait confirme les relations généralement admises entre l'atmosphère et les sels de la nappe en zone aride :

concentration par évaporation des sels les moins solubles de la nappe près de la surface du sol; les sels les plus solubles s'accumulent au-dessus.

transport à faible distance des sels les plus solubles à gros noyaux cristallins (formation des lunettes).

transport à grande distance des sels les moins solubles, invariablement les carbonates de calcium et de magnésium, associés aux fractions fines de la surface du sol.

L'équilibre ionique des sels aériens continentaux, arrachés aux surfaces d'évaporation de la nappe, est très proche de celui du complexe absorbant des sols bien drainés des mêmes zones, mais, faute de mesures, il nous est actuellement impossible de savoir s'il y a là relation de cause à effet ou simple convergence, le simple lessivage des sols tendant théoriquement au même équilibre. On peut toutefois admettre que les chutes de sels continentaux ne peuvent qu'entretenir le chimisme actuellement constaté des sols de la couverture sableuse tchadienne.

#### 24-4 Le lac Tchad :

Nous résumons ci-dessous l'étude de A. BOUCHARDEAU :

- la salure des eaux du lac croît régulièrement vers le Nord; les sels sont concentrés sous l'effet d'une évaporation annuelle de l'ordre de 2m compensée dans le lac Nord par le courant issu de la Grande Banière; l'absence de brassage des eaux du lac maintient cette variation progressive de salure (Fig.4I PL.I8).

- les pertes marginales au travers des rives par infiltration ou écoulement limitent à 500 mg/l (1957) la concentration des eaux et assurent sa constance dans le temps.

Ainsi la salure croît, de Bosso à Nguigmi, de 130 à 240 mg/l. Le dépôt des sels s'effectue en dehors des "rives visibles" du lac sur une frange littorale où se poursuit la concentration responsable de la salure des terres basses de la cote Nord-Ouest, et des salines du Nord-Est.

Ces concentrations ont été probablement sous évaluées à cause de la forte hydraulicité des années précédant 1957. Une mesure de FAURE en 1960 donne 768 mg/l à NGUIGMI. Les analyses de PIAS pour le Sud, FAURE pour le Nord, concordent mais ne concernent que des eaux bordières déjà concentrées. Elles ont pour particularité d'être très pauvres en sulfates et chlorures; l'équilibre moyen des cations est : Na = 3; Ca = Mg = 1. Ce sont des eaux carbonatées sodiques, nettement distinctes, à concentration égale, des eaux de la nappe du Manga.

TABLEAU 9  
COMPOSITION IONIQUE DES EAUX MOYENNES DU MANGA ET DU LAC TCHAD  
(en milliéquivalents/litre)

ORIGINE	CA	Mg	Na(+ K)	Cl	SO4	CO3	Somme
CONTINENTAL 1	0,95	0,33	1,00	0,17	0,06	2,05	4,56
INTERCALAIRE <sub>2</sub>	1,02	0,46	1,24	0,20	0,40	2,12	5,44
MANGA 3	1,12	0,39	1,38	0,42	0,73	1,74	5,78
MANGA 4	2,20	1,10	3,90	1,50	2,50	3,20	14,40
Eau sulfatée 5	11,50	5,50	13,50	6,00	17,00	7,50	61,00
Eau natronée 6	0,85	0,60	44,00	6,50	12,50	26,50	90,95
LAC TCHAD	1,8	1,8	6,0	T	T	9,6	19,8

TABLEAU 10

## COMPOSITION IONIQUE DE DEPOTS SALINS (en méq/100 g)

N A T U R E	Ori- gine	Ca	Mg	Na(+K)	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	Somme	Impu- retés%
CROUTE A SULFATES	NB793	4,4	10,0	1444,6	12,0	1140,0	8,0	2920	0
EFFLORESCENCES A NATRON	BI7I	8,8	19,0	552,8	16,0	20,0	543,8	1159,6	67
EFFLORESCENCES A SULF.	NAI8I	79,5	251,9	160,4	8,0	480,0	4,0	983,8	68
EFFLORESCENCES MIXTES	NA76I	4,0	14,0	608,0	4,0	214,0	99,0	1251,0	61
DEPOTS CARBONATES IN- TERNES	NB795	480,0	278,4	175,2	14,4	134,4	785,8	1869,2	52
SELS ATMOSPHERIQUES	BOUDOUM	188,0	120,0	54,0	12,0	84,0	266,0	724,0	80,0

TABLEAU 11

## COMPOSITION CENTESIMALE VIRTUELLE SALINE DES DEPOTS DES EAUX MOYENNES DU MANGA ET DU LAC TCHAD (Sels formés par ordre de solubilité, puis regroupés par cations milliéquivalents).

ORIGINE	CO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>			Cl <sup>2</sup>		
	Ca	Mg	Na <sup>2</sup>	Ca	Mg	Na <sup>2</sup>	Mg	Na <sup>2</sup>	
CONTINENTAL	1	41,5	14,5	33,5	0	0	3,0	0	7,5
INTERCALAIRE		2	38,0	17,0	23,5	0	0	15,0	0
MANGA	3	39,0	13,5	8,0	0	0	25,0	0	14,5
	4	30,5	14,0	0	0	0	34,5	1,5	19,5
Eau sulfatée	5	24,5	0	0	13,0	0	42,5	18,0	2,0
Eau natronée	6	2,0	1,5	55,0	0	0	27,5	0,0	14,0
LAC TCHAD		19,0	19,0	62,0	-	-	-	-	-



TABLEAU I2

## COMPOSITION CENTESIMALE SALINE DES DEPOTS SALINS

N A T U R E	Ori- gine	CO3			SO4			Cl2	
		Ca	Mg	Na2	Ca	Mg	Na2	Ca	Mg
CROUTE A SULFATES	NB 793	0,25	0,25	0	0	0	<u>98,5</u>	0,5	0,5
EFFLO. A NATRON	NB 171	2,0	3,0	<u>89,0</u>	0	0	3,5	0	2,5
EFFLO. A SULFATES	NA 181	8,0	0	0	15,0	<u>49,5</u>	32,5	5,0	0
EFFLO. MIXTES	NA 761	0,5	2,0	<u>62,5</u>	0	0	<u>34,0</u>	0	1,0
EFFLO. TCHAD	NB 861	10,0	7,5	<u>62,0</u>	0	0	5,5	0	15,0
DEPOTS CARBONATES INTERNES	NB 795	30,0	3,0	0	0	14,0	0		2,0
SELS ATMOSPHERIQUES	BOUDOUM	<u>52,0</u>	<u>21,5</u>	0	0	8,5	15,0	3,0	0,0

11.C. LE MODELE11 C-1 : GENERALITES :

Le modelé du NIGER Oriental est étroitement lié aux caractéristiques climatiques ainsi qu'à la nature des roches. Parmi celles-ci, les accumulations sableuses dominent largement sur les affleurements rocheux.

Le modelé actuel résulte également des variations climatiques et de l'activité tectonique qui ont marqué l'histoire du Quaternaire, notamment en faisant varier les conditions lacustres dans la dépression Tchadienne.

On observe ainsi la juxtaposition de formations dunaires correspondant à un climat aride, et de cuirasses ferrugineuses correspondant à un climat tropical. Ces deux types de formations anciennes représentent les deux pôles entre lesquels ont varié les climats depuis le dépôt du Continental Terminal. Divers systèmes morphoclimatiques sont donc intervenus dans l'élaboration du relief actuel où l'on observe les diverses morphologies suivantes :

- Morphologie de climat aride, caractérisé dans ces régions par des accumulations sableuses très étendues et des formes dunaires variées.

- Morphologie de climat subaride, caractérisé par un type d'écoulement original et la formation de glacis.

- Morphologie de climat tropical à saison sèche, caractérisé par de longs versants sujets au cuirassement ferrugineux.

Ces trois grands types de morphologie se répartissent au NIGER Oriental dans deux régions où l'évolution du relief a été opposée :

Les massifs de bordure de la cuvette Tchadienne, dont les soulèvements successifs ont été à l'origine de plusieurs cycles d'érosion sous des climats variant de tropical à subaride. Différents cycles de cuirassement, rattachés à plusieurs niveaux de base, sont une des caractéristiques essentielles de ces massifs. La sédimentation y a été très faible mais des accumulations sableuses recouvrent une très grande partie de ces massifs.

Le secteur de la cuvette Tchadienne, dont l'enfoncement s'est effectué par saccades. On distingue ainsi plusieurs paliers et des formes très variées dans les accumulations sableuses qui sont considérables. Les dépôts fins fluviolacustres n'occupent que des surfaces très faibles.

## I C-2 LA MORPHOLOGIE DES MASSIFS DE BORDURE ET LES CYCLES DE CUIRASSEMENT

Le modelé des massifs du Damergou, de Korgom, du Damagaram, du Mounio, et du Koutous, est caractérisé par la présence d'importants reliefs résiduels, diversement étagés et cuirassés, aux piedmonts desquels se raccordent deux types de versants :

- Soit des glacis de type subaride, (Damergou et Damagaram), qui représentent une "forme intermédiaire entre le versant et le lit" (P.BIROT 1959), et résultent de phénomènes d'écoulement en nappe. Il existe également des écoulements concentrés, très discontinus dans le temps et l'espace, et

qui empruntent certains tronçons d'un réseau hiérarchisé organisé sous un climat plus humide : Vallée du Goulbi N'KABA. Certains de ces aplanissements prennent l'aspect de "regs" caractérisés par un pavage de débris grossiers résultant de l'exportation préférentielle des éléments fins par le vent (Regs de la région de Tanout).

- Soit des versants correspondant à un climat tropical à saison sèche. Ceux-ci, comme les glacis, sont adossés à des reliefs résiduels par des versants raides reculant parallèlement à eux-mêmes, et leur surface est façonnée par un écoulement en nappe. Mais ils diffèrent des glacis subarides principalement par les processus de cuirassement dont ils sont le siège. Des versants de ce type s'observent dans la région de Zinder sur roches gréseuses et le concrétionnement ferrugineux qui les caractérise, correspond à un climat plus humide que l'actuel - au moins 750 mm au lieu de 530 mm actuellement à Zinder - et résulte des processus de formation des sols Ferrugineux Tropicaux lessivés à concrétions.

Ces deux types de versants peuvent être recouverts et plus ou moins fossilisés par des ensablements variés et notamment ceux rattachés à la formation de l'erg 1.

Des phénomènes anciens de cuirassement ont marqué les différentes étapes du creusement et de l'évolution générale du relief. La formation et la distribution géographique des niveaux cuirassés, se trouvent ainsi liées aux différents niveaux de base atteints dans ces massifs.

Les cuirasses observées au NIGER Oriental sont essentiellement ferrugineuses et elles présentent les divers facies suivants :

- Cuirasse pisolitique et conglomératique surmontant les argiles crétaées du Damergou. Elle renferme des galets à oolithes ferrugineuses, des débris de grès fins et de grès à ciment violacé; elle correspond à la formation de Zaouzaoua, Quaternaire ancien, de H. FAURE (1962). Cette cuirasse a une très grande extension sur les plateaux du Damergou, situés vers 530m, où elle forme des regs; au sud de ce massif, elle occupe les sommets de quelques buttes témoins et disparaît vers 14° 15' au sud de Brigi-Maina. Elle existerait également dans le massif du Koutous.

- Cuirasse pisolitique et oolithique des sommets du massif gréseux de Korgom; (510-520m). Elle présente un mode de gisement très particulier, discontinu, sous forme de petits entonnoirs de quelques mètres de diamètre à la surface des grès. (R. MAIGNIEN 1958). La structure est finement pisolitique à oolithique à la base, et plus grossièrement pisolitique au sommet où s'observe une surface cannelée par abrasion éolienne.

- Cuirasse conglomératique de bas de pente par imprégnation et cimentation d'éboulis du Damagaram. Vers les cotes 460-470m., se situent d'anciennes terrasses de remblaiement - aujourd'hui perchées - dont les éléments (galets, débris anguleux, arène granitique) sont plus ou moins fortement cimentés par des hydroxydes. Localement, il y a passage à une cuirasse dont la structure est typiquement lamellaire. Dans la vallée du Goulbi N'Kaba, on observe également la cimentation d'une ancienne nappe alluviale de galets.

Dans ces trois faciès de cuirassement ancien, on a noté la présence fréquente de cortex ferrugineux craquelé en surface, et la recimentation plus ou moins complète des lèvres de ces fissures par un enduit ferrugineux jaune brun.

- Cuirasse pisolitique et lamellaire formée sur roches gréseuses (Continental terminal de J. GREIGERT) sur le pourtour du bassin de la Korama. Cette formation cuirassée présente deux caractères constants : d'une part elle est enfouie sous plusieurs mètres d'une formation sableuse colorée (Formation de Bandé), d'autre part, le cuirassement est intense, épais de un à trois mètres et il se développe sur des grès argileux à tubulures en présentant la succession des faciès suivante : Imprégnation ferrugineuse de la partie supérieure des grès - Cuirasse à faciès nodulaire - Faciès pisolitique - Faciès massif ou lamellaire. Ce type de cuirassement, observé en de nombreux points localisés sur le pourtour du bassin de la Korama, est toujours situé à des altitudes voisines de 410 - 420 m.

- Concrétionnement tubulaire et cuirasse massive à faciès spongieux dans différentes formations sableuses. Ces faciès correspondent à une imprégnation ferrugineuse des sables par une nappe superficielle perchée sur un banc rocheux ou sur une ancienne cuirasse.

Pour chacun des principaux massifs du NIGER Oriental, il est possible de distinguer plusieurs cycles de cuirassement en se basant sur les faciès et sur l'étagement régional des niveaux cuirassés. Les corrélations entre les massifs sont par contre plus délicates, (cf. Tableau), car les faciès varient également suivant la nature des roches composant chaque massif.

TABLEAU 13

Etagement des niveaux cuirassés dans les principaux massifs du NIGER ORIENTAL

Damergou	Korgon	Damagaram	Mounio
530 m --- (?)	520 m		
450 m --- (?)	480 m	460-470 m	440 m
	450-460 m	450m	420 m
	420-410 m	410-400 m	390 m

En conclusion, ces diverses observations conduisent à formuler l'hypothèse suivante, basée sur la relation probable entre les soulèvements successifs des massifs de bordure et les divers niveaux de cuirassement.

Du Damergou à la bordure de la cuvette Tchadienne, il est possible d'identifier une pente générale du cuirassement - un sens de migration du fer - conforme à la situation tectonique à la fin du Tertiaire. Les différents niveaux de cuirassement forment autour de chacun des massifs un système d'auréoles discontinues de cuirasses, orientées et s'étageant vers la cuvette et plus particulièrement vers le bassin de la Korama.

Cette disposition générale devait correspondre à une organisation du réseau hydrographique différente de l'actuelle où l'on note précisément entre le Damergou et la Korama, la séparation des bassins du Tchad et du Niger. La séparation de ces deux bassins pourrait donc être considérée comme postérieure aux principales phases de cuirassement et antérieure à :

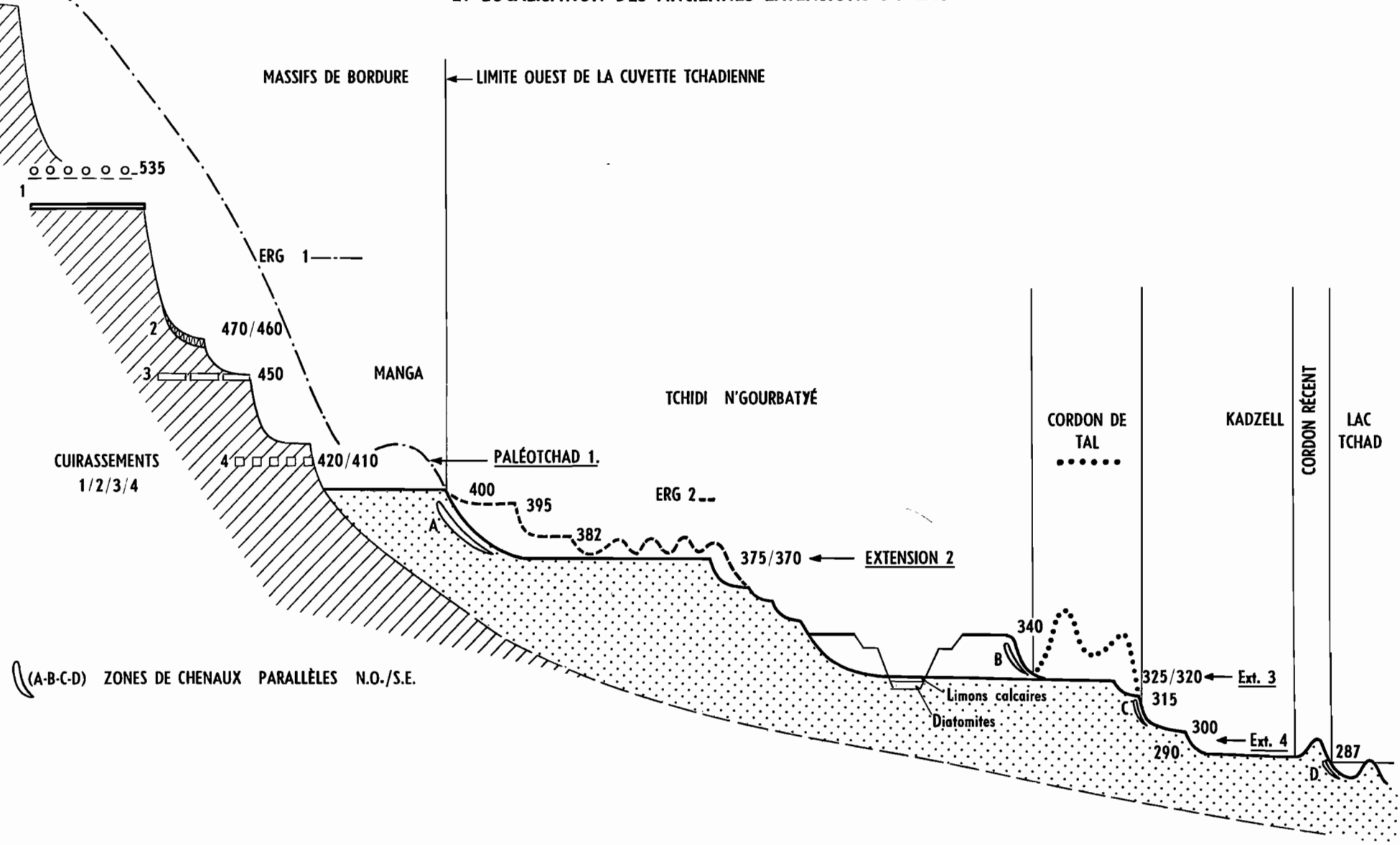
- la formation d'une surface faiblement cuirassée (450m) présentant une pente vers le Nord jusqu'au Goulbi N'Kaba.
- la formation d'un cuirassement intense, orienté vers le Sud, à la bordure même du bassin de la Korama (410.420 m)
- la formation de l'Erg 1 (grand aride), qui recouvre ces surfaces.

Cette séparation des deux bassins résulterait d'un soulèvement plus intense de la région du massif de Korgom, comme le laisse supposer par ailleurs un réseau de failles récentes affectant les formations gréseuses (J.GREIGERT. F. PIRARD) ainsi qu'une anomalie gravimétrique positive récemment constatée. (Géophysique ORSTOM. 1958-1962).

Dans cette hypothèse, il serait également possible d'interpréter les différences d'altitude d'étagement des niveaux cuirassés entre les massifs de Korgom, du Damagaram et du Mounio, comme résultant d'un décalage progressif des niveaux du bas, dû à un amortissement du mouvement épéirogénique en s'éloignant du massif de Korgom.

La comparaison de cette hypothèse avec les travaux de H. FAURE (1962) pour le NIGER Oriental, de E. ROCH (1953) et J.PIAS (1958) au Tchad et de P.MICHEL (1959) au Sénégal, montre d'assez bonnes corrélations : le niveau cuirassé le plus ancien (Damergou 530m), correspond à la fin du premier creusement de H. FAURE et du "relief intermédiaire" de P.MICHEL, d'âge fin tertiaire, les trois niveaux cuirassés suivants seraient Quaternaire ancien, antérieur à l'erg I ancien et homologue des trois "glacis cuirassés" de P. MICHEL et du deuxième creusement de H. FAURE. La formation de sables rouges - formation de Bandé - fossilisant le dernier niveau cuirassé (420-410) pourrait être parallélisée aux "sables de Kélo" de E. ROCH et J.PIAS.

### COUPE MORPHOLOGIQUE SCHÉMATIQUE DU DAMERGOU AU DAMAGARAM, AU LAC TCHAD ET LOCALISATION DES ANCIENNES EXTENSIONS DU LAC



(A-B-C-D) ZONES DE CHENAUX PARALLÈLES N.O./S.E.

Limons calcaires  
Diatomites

### II C-3 : LES ACCUMULATIONS SABLEUSES ET LES FORMES DUNAIRES :

Toutes les formes dunaires observées au NIGER Oriental, sont actuellement fixées par la végétation à l'exception d'une certaine partie du cordon de Tal occupée par des sables vifs. Cette morphologie est héritée : elle est le résultat d'actions éoliennes anciennes correspondant à un climat aride tel qu'il existe aujourd'hui 400 Km plus au Nord pour une pluviométrie inférieure à 100 mm. Ces formes dunaires sont généralement érodées et elles seraient dûes à l'action du climat actuel (URVOY Y.1933), et de climats anciens plus humides sur un modelé éolien initialement plus marqué.

Ces formations éoliennes correspondent à deux systèmes d'âge quaternaire. (H. FAURE 1962). Le plus ancien et le plus remarquable est rattaché à la grande phase aride du Paléolithique moyen et serait l'équivalent des dunes pré-Ouljiennes du Sénégal : cet Erg I recouvre et fossilise les surfaces de creusement cuirassées du Quaternaire ancien, dans les massifs de bordure. Le second-remaniant souvent le précédent - est plus récent (-5.000 à 7.000 ans en âge absolu) et correspondrait au début des fluctuations Néolithiques.

L'examen de la répartition générale des formes dunaires (Planche), met deux faits en évidence :

- D'une part des formations présentent des orientations sensiblement transversales ou bien parallèles à une direction générale Est-Nord-Est/Ouest-Sud-Ouest qui correspond à celle des vents dominants actuels.

- D'autre part, leur disposition générale témoigne d'un mouvement des sables vers le Sud-Ouest, qui correspond à celle des vents dominants actuels.

- D'autre part, leur disposition générale témoigne d'un mouvement des sables vers le Sud-Ouest, de leur passage entre les massifs du Mounio et du Koutous, et de leur pénétration dans les massifs du Tanagaram sous forme de longues traînées empruntant des couloirs entre les reliefs.



C 3-1 : Les ergs anciens transversaux et les formes dunaires qui leur sont associées.

3I-I : Les ergs anciens

Leur extension dans la région étudiée est sous la dépendance des massifs du Koutous, du Mounio et du Damagaram entre lesquels ils se faufilent, et du tracé d'une ancienne vallée de bordure du Mounio, qui les interrompt. Ce sont :

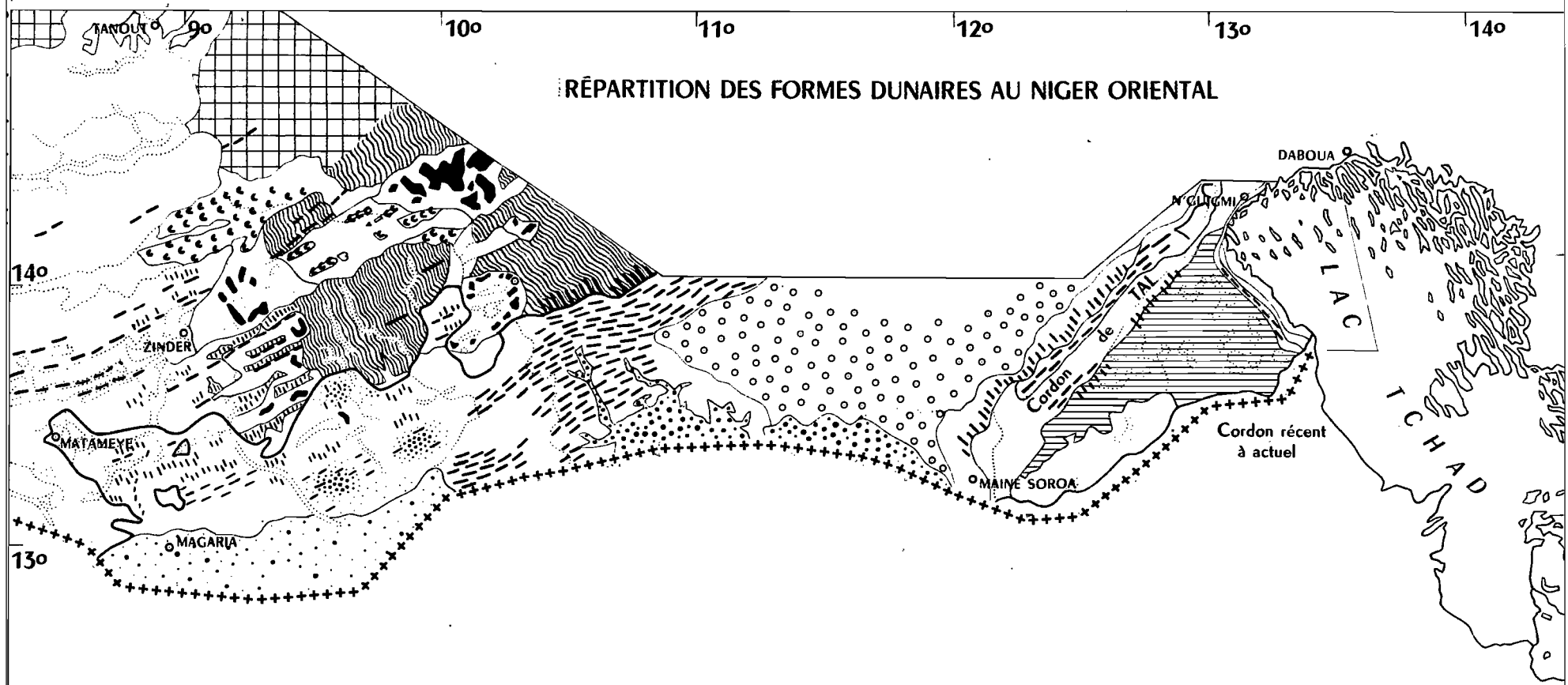
- L'erg au Nord et Nord-Ouest du Koutous, et l'erg de Toufafiras
- L'erg de Gouré au Nord-Est du Mounio, et l'erg du Gidimouni.





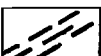



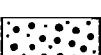
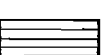

Ces ergs sont caractérisés, en plan, par la succession de rides transversales flexueuses orientées Nord-Ouest-Sud-Est, présentant une ondulation régulière. Ces formes sont généralement symétriques. Les ondulations transversales sont distantes de 300 à 500 mètres (500 à 600 dans l'erg de Gidimouni), et hautes de 20 à 30 mètres.

Entre ces rides, les sillons sont également flexueux; leur fond est souvent souligné par une rupture de pente à la base des versants, et il peut être constitué d'alluvions à texture fine, disposées en "fond de bateau". Ces sillons peuvent devenir confluents, localement se hiérarchiser et révéler ainsi la trace d'un ancien réseau hydrographique surimposé au modelé éolien. Cette disposition est particulièrement nette dans l'erg de Gidimouni où les principaux tronçons d'un ancien réseau, actuellement soulignés par des chapelets de mares, ont une pente uniforme orientée Nord-Ouest/Sud-Est et disparaissent tous à l'avant lorsque l'erg disparaît lui-même au voisinage de cotes comprises entre 370 et 375 m.

Les sables composant ces différents ergs anciens forment une unité granulométrique précédemment caractérisée; leur origine est vraisemblablement commune et ils dérivent de nappes alluviales épandues par d'anciens coulements Nord-Ouest/Sud-Est, comme celui de la bordure du Koutous et du Mounio. Ce matériel sableux a pu être ensuite remanié sur place par le vent pour donner ce type de réseau dunaire à grandes ondulations.

# RÉPARTITION DES FORMES DUNAIRES AU NIGER ORIENTAL



- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | Système dunaire transversal des ergs anciens orientés                     |  | Modèle dunaire peu différencié. Présence de cuvettes sèches. |
|  | Dunes transversales.  |  | Ensablement peu épais (système réticulé) des régions Nord.   |
|  | Dunes et cordons longitudinaux  |  | Ensablements locaux peu différenciés.                        |
|  | Dunes isolées, rondes ou en bouclier.                                     |  | Massif rocheux, en relief                                    |
|  | Modèle dunaire peu différencié. Présence de lacs et mares semi-permanents |  | Alluvions fines du Kadzell.                                  |
|  | Limite, Ouest de la cuvette Tchadienne.                                   |  |  |

Trois autres formes dunaires sont à rattacher aux ergs anciens transversaux : Ce sont les cordons longitudinaux dans les massifs, les dunes isolées et les ensablements peu épais en système réticulé sur les formations gréseuses. Toutes trois correspondent à un ensablement discontinu qui fait suite, vers le Sud-Ouest, aux ergs anciens.

### 3I-2 : Les cordons longitudinaux

Ils sont particulièrement bien développés dans le Damagaram et à l'Ouest de ce massif. Ils représentent la pénétration des ergs anciens entre les principaux reliefs des massifs, sous forme de longues traînées longitudinales de direction constante Nord-Est/Sud-Ouest. Leur longueur moyenne est de l'ordre de 50 Km. Mais ils peuvent atteindre près de 100 Km et leur largeur varie de 2 à 10 km. Quand leur largeur est faible ils sont constitués à leur sommet de plusieurs arêtes longitudinales discontinues; si leur largeur augmente, ils sont alors divisés par des rides transversales tout en conservant généralement une arête longitudinale sur leur face Sud-Est. Dans des réseaux dunaires de ce type, les creux d'interdunes peuvent prendre la forme d'entonnoirs profonds (Erg de Myria).

Les cordons longitudinaux recouvrent d'anciens versants cuirassés ou non, établis dans les massifs du Damagaram et du Mounio. Lorsqu'ils viennent en recouvrement des grès continentaux à l'Ouest de Zinder, leur disposition et leurs limites apparaissent particulièrement nettes sur photographies aériennes. En effet, seuls les cordons sableux sont cultivés, alors que les surfaces sur grès sont plus ou moins cuirassées et occupées par une brousse inculte (Forêt de Takieta). Cette disposition a été également remarquée en Nigéria, dans la région de Katsina par A.T. Grove et R.A. PULLIAN (1961).

Au point de vue granulométrique, il a été montré précédemment que ces sables dérivent de ceux des ergs orientés par un tri plus poussé et une finesse plus grande. L'agent de mise en place est le vent qui a dû présenter une extrême régularité pour former ces longs cordons sableux de très faible largeur et d'orientation constante.

3I-3 : Les dunes isolées :

L'ensablement des surfaces occupées par les grès crétacés au Nord et Nord-Est du Damagaram, est discontinu et se présente sous la forme de dunes isolées, rondes ou en bouclier. Ces grandes dunes dissymétriques peuvent être isolées les unes des autres de plusieurs kilomètres ou bien groupées par deux ou trois : ce sont d'anciennes barkhanes aux formes adoucies par l'érosion hydrique, mais où l'on reconnaît parfois d'anciennes cornes latérales, ou bien une dissymétrie marquée par une pente plus forte de la partie sous le vent. Leur diamètre peut atteindre un kilomètre et leur hauteur, de 30 à 40 mètres, les fait émerger, comme des îles, de la surface très plane des grès crétacés.

3I-4 : Les ensablements peu épais des régions Nord.

Au Nord de l'erg du Koutous et à l'Ouest du Damergou, (Région d'Eliki), le recouvrement des formations gréseuses est peu épais et les formes dunaires, faiblement marquées sont assemblées en un système réticulé. Cet ensablement, recouvrant de très vastes glacis anciens, semble constitué par un groupement en réseau plus ou moins compact (en forme d'écaillés sur photos aériennes), de dunes rondes étalées. Le substratum gréseux apparaît dans les cuvettes et un réseau hydrographique s'est établi secondairement dans ce modelé éolien.

Les formes dunaires précédemment décrites, se situent sur le pourtour de la cuvette Tchadienne, à des cotes toujours supérieures à 400 m., et elles peuvent être rattachées au système dunaire le plus ancien (Erg 1 du Paléolithique moyen).

Dans la cuvette Tchadienne, définie par une limite Nord passant aux environs de Magaria, Matameye, Wacha, Gidigir, Gouré, (Planche ), l'accumulation des sables est particulièrement importante et constante. En lors de la visite de la station de la Kadzell. Les formes y sont généralement peu accusées, les plateaux sableux parsemés de cuvettes dominant, et les affleurements de nappes - constant sur la bordure méridionale jusqu'à Mainé Soroa - confèrent une originalité certaine à cette région.

C 3-2 : les formes dunaires dans le secteur nigérien de la cuvette Tchadienne

Elles s'étagent entre des altitudes comprises entre 380 et 290 mètres, et l'on observe une succession de formes qui peuvent se répéter depuis l'erg ancien de Gouré jusqu'au rivage actuel du lac.

32-1 : Le modelé du rivage actuel du lac Tchad

Il est caractérisé par trois types de formes :

- la rive Nord-Ouest dans la région de N'Guigmi, et les rives NORD et Est en République du Tchad, sont découpées parallèlement à la côte et se poursuivent par des chapelets d'îles sableuses orientées Nord-Ouest-/Sud-Est, et connues sous le nom d'"archipel". Entre ces îles, le lac occupe de longs chenaux sinueux sensiblement parallèles, qui dérivent de sillons interdunaires remodelés par les eaux. H.FREYDENBERG (1908), G.GARDE (1911), J. TILLO (1925), BARBEAU J. (1958).

- Sur la rive Tchadienne, aux environs de Bol, A. BOUCHARDEAU et R. LEFEVRE (1957), ont noté que l'altitude des ondulations décroissait du Nord-Est au Sud-Ouest, de la côte vers l'archipel puis dans les "îlots blancs", et que les îles disparaissaient ensuite (Région des "eaux libres"). Mais des sondages par ultrasons ont montré que le réseau dunaire occupait toujours les fonds (5 mètres en moyenne), sous forme d'ondulations sableuses souvent arasées à leur sommet, et séparées ou recouvertes de dépôts d'argile ou de vases organiques.

Ces deux éléments morphologiques correspondent à un ancien réseau dunaire transversal, envahi et remodelé par une invasion du lac. Le changement d'orientation de la côte, entre N'Guigmi et Bso, résulte également de cette orientation transversale initiale du réseau dunaire.

- Un cordon sableux, récent à actuel, s'étend parallèlement à cette côte dont il est distant de quelques centaines de mètres. D'un kilomètre environ de largeur, il est composé d'arêtes parallèles discontinues d'une hauteur inférieure à 10 m. Ce cordon pourrait être l'équivalent de celui du Nord de Makary, décrit en République Tchadienne par J.PIAS et E.GUICHARD (1957),

ainsi que du "Ngelewa ridge" de Nigéria signalé par A.T. GROVE et R.A. PULLAN (1961).

Ainsi, sur de faibles distances, la morphologie côtière actuelle est caractérisée par la succession et l'association de trois types de formes : un cordon côtier sableux; une côte présentant ou non, suivant son orientation, des chapelets d'îles séparés par de longs chenaux parallèles; des fonds occupés par des ondulations sableuses arasées.

L'étude de ce secteur nigérien de la cuvette Tchadienne, a montré qu'une telle séquence morphologique pouvait se retrouver et se répéter entre l'erg de Gouré et le rivage actuel. Il a été reconnu d'autre part que ces diverses formes s'étagaient à des niveaux régulièrement décroissants. Dans cette hypothèse qui rend compte - différemment de celle d'Y. URVOY (1933) - de la juxtaposition de formes très différentes, il est possible d'identifier morphologiquement d'anciennes lignes de rivage qui se situeraient au cordon de Tal et en bordure du Manga.

### 32-2 : Le cordon de Tal.

Reconnu en 1961 par F. PIRARD, le cordon de Tal se situe entre Mainé Soroa et N'Guigmi avec une direction Sud-Ouest/Nord-Est. Au Sud de N'Guigmi, il est encore confondu avec le cordon récent qui prend alors une direction orthogonale vers Boso. Il est traversé au Sud de Mainé Soroa par la rivière Komadougou qui a alluvionné en amont avant de le franchir. Sensiblement rectiligne sur 150 km. de long, il peut atteindre 10 à 15 km de largeur et son altitude varie de 320 à 350 m, soit de 30 à 60 mètres au-dessus du niveau actuel du lac.

C'est sur sa face Nord-Ouest, que se situent les arêtes discontinues les plus élevées, ainsi que de vastes plages de sables vifs. C'est également sur ce front Nord-Ouest - limitant la région du "Tioldé" - que viennent se fermer des dépressions à fond plat, orientées Nord-Ouest/Sud-Est, d'un kilomètre environ de largeur sur plusieurs kilomètres de long, sinueuses et parallèles, et rappelant par leur forme les chenaux de bordure du lac. (Planche Ainsi, cette disposition qui groupe deux éléments de la morphologie côtière actuelle, et l'ordre de leur association, pourrait indiquer que le cordon se soit formé après un léger retrait de la ligne de rivage.

Sur la face Sud-Est, on observe un ensemble morphologique symétrique par rapport à l'axe du cordon. Il est composé localement d'une seconde ligne de crêtes parallèles moins élevées, qui bordent des dépressions allongées parallèles ouvertes vers l'aval. Cette disposition - analogue à la morphologie actuelle - suggère qu'après sa mise en place, le cordon ait pu limiter une nouvelle extension du lac et constituer lui-même une ligne de rivage.

Le cordon de Tal est constitué de sables quartzeux fins non colorés, dont l'analyse granulométrique a montré qu'ils dérivent des sables du Manga par un tri éolien plus poussé. Les sables vifs sont encore plus fins et plus triés. Cependant, la reconnaissance morphoscopique a montré une faible éolisation des grains, souvent de forme anguleuses et d'aspect de surface de type luisant lustré. L'agent principal de formation pourrait donc être l'eau, le vent n'étant que secondaire. Le matériel sableux proviendrait d'alluvions déposées à l'embouchure de l'ancienne rivière DILLIA et les vents de secteur Nord-Est auraient façonné ce cordon longitudinal rectiligne.

Le cordon de Tal est l'homologue de celui décrit en République du Tchad par J. PIAS et E. GUICHARD (1957) sous le nom de "cordon de Limani-Yagoua", et de sa prolongation en Nigéria sur 500 km, de Bama à Maiduguri puis Magumeri. ("Bama ridge" de A.T. GROVE et R.A. PULLAN 1961).

### 32-3 : La bordure du Manga et le Tchidin-Gourbayba :

De la bordure de l'erg ancien de Gouré jusqu'au cordon de Tal, on observe sur une coupe Ouest-Nord-Ouest/Est-Sud-Est, la succession morphologique suivante :

- Sur sa bordure Sud-Est, les ondulations flexueuses de l'erg transversal de Gouré s'amortissent et deviennent sensiblement plus rectilignes. Ces sillons transversaux prennent alors l'aspect de chenaux étroits de 3 à 400 mètres, demeurant parallèles sur une distance d'environ 10 km. et pour une pente moyenne de 2 pr.mille.

- Au bas de cette pente, ces chenaux s'effacent et sur une surface beaucoup plus plane (0,2 pour mille), apparaît dans la région de Soubdou-sur une largeur de 20 km - une série de cordons longitudinaux soulignés par des alignements de dépressions. Situés en aval des chenaux en pente, ces cordons jouent le rôle de gouttières d'écoulement; celles-ci peuvent se rejoindre par un tracé en baïonnette elles forment ainsi un seul alignement transversal de dépressions : le Ngatcholoul, qui représente le tronç d'un ancien réseau hydrographique dirigé vers la Komadougou et dont le niveau de base s'est situé aux cotes actuelles de 340 -345m.

On peut interpréter ces deux éléments morphologiques ainsi associés, comme les homologues de ceux constituant la bordure Nord-Ouest du Cordon de Tal. Il convient de noter cependant :

- ° les dimensions plus importantes de ces formes littorales.
- ° le fait que se soit différencié une série de cordons au lieu d'un seul.
- ° un remodelage postérieur à la formation, par des agents aussi bien hydriques qu'éoliens, en relation avec la plus grande ancienneté de ce modelé.

- Enfin, à ces deux éléments morphologiques fait suite vers le Sud-Est une très vaste unité, occupant toute la partie centrale de ce secteur : le Tchidi N'Gourbaybé, est constituée par un plateau sableux parsemé plus ou moins régulièrement de très nombreuses cuvettes et parcouru par des rides longitudinales. Les cuvettes présentent des formes très variées et leur origine est complexe. Leur forme générale en plan peut présenter tous les intermédiaires entre les formes arrondies, anguleuses, allongées suivant les deux directions orthogonales générales, et enfin diversement confluentes.

Leur profondeur varie de quelques mètres à 30 mètres par rapport à la surface du plateau : elles peuvent ainsi atteindre la nappe - notamment dans la partie méridionale - et former des lacs permanents ou des systèmes caractéristiques du Mandaram : "pays des salines ".



Les versants ont des pentes variées suivant la présence d'un bourrelet qui influe sur leur dissymétrie; ces bourrelets, ceinturant plus ou moins complètement les cuvettes, sont constitués soit par une ride du plateau, soit par la sortie des sables chassés de la cuvette, et dans deux cas ils contribuent à en modifier la forme.

Différents types de dépôts lacustres ou fluviolacustres occupent les fonds de certaines de ces cuvettes. On a observé ainsi, généralement entre des niveaux sableux :

- des diatomites feuilletées (Kelakam, Maïné Soroa), surmontées par des calcaires lacustres (Maïné Soroa), puis
- des limons gris calcaires très fréquents ou des limons noirs à sulfures (Zoumba).

Enfin, on distingue dans certaines cuvettes allongées un replat à mi-versant (:"Terrasse perchée des Koris" de F. PIRARD).

Quant à leur origine, il semble qu'elles résultent du remaniement ou de la fragmentation soit d'anciens sillons ou creux interdunaires (Région de Sisi), soit d'anciens axes d'écoulements (Région d'Alkamari). Les agents de formation seraient en premier lieu une invasion lacustre dans un modelé éolien ancien de type transversal : il en résulterait la formation du plateau sableux par arasion des crêtes dunaires et un remaniement ainsi qu'une sédimentation lacustre dans les creux. Enfin, après le retrait du lac, la surface du plateau a pu être reprise par le vent qui aurait fragmenté et modelé ces dépressions par la formations de rides et de bourrelets (Erg 2).

#### 32-4 Conclusions :

En conclusion, cette reconnaissance de ces formes dunaires, leur mode d'association et leur étagement (Planche ), conduisent à émettre une hypothèse relative à leur formation. Ainsi, l'histoire de ce secteur nigérien de la cuvette Tchadienne paraît dominé par les relations entre les variations du niveau du lac corrélatives aux époques pluviales - et l'enfoncement par saccades de cette vaste dépression.

D'anciennes lignes de rivage peuvent être identifiées en se fondant sur la répétition de séquence morphologiques et sur la morphologie des massifs de bordure.

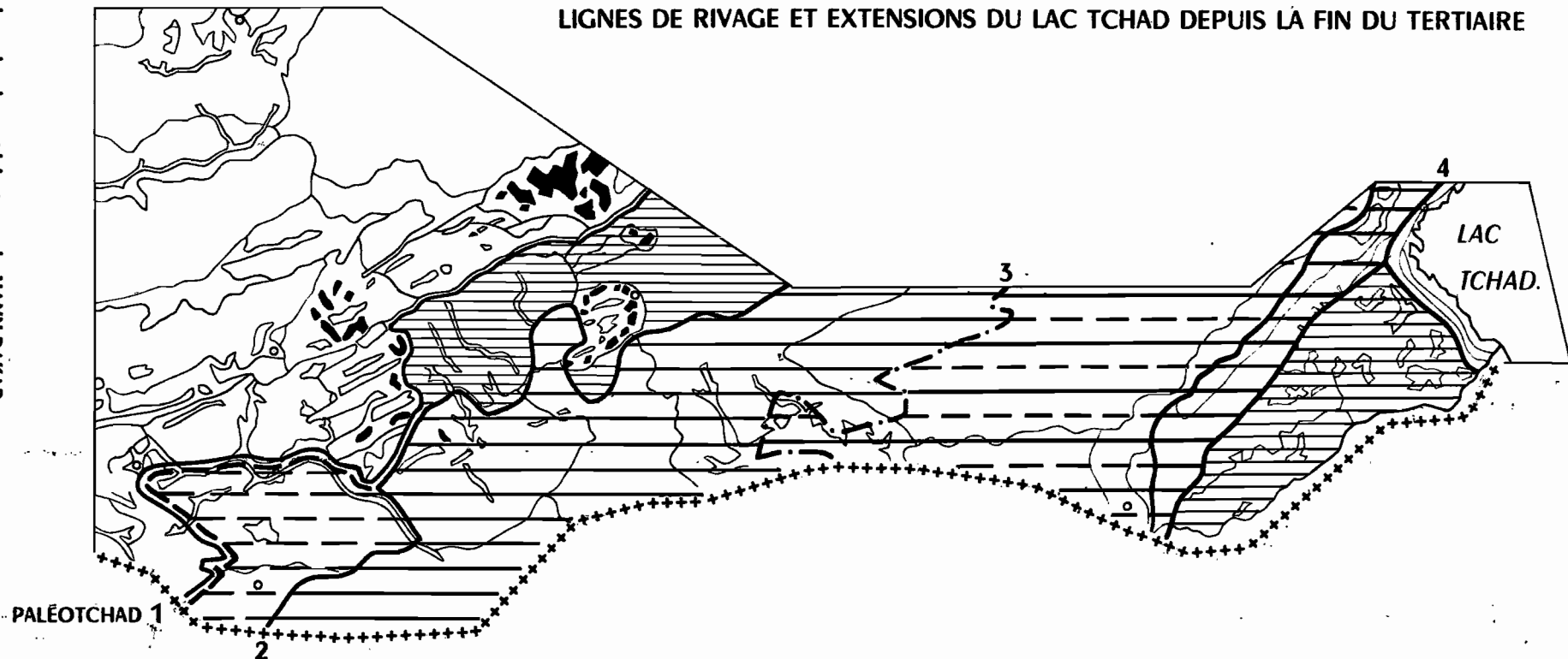
Dans ces derniers, le niveau de base le plus récent est souligné par un fort cuirassement enfoui sous une formation de sables rouges en bordure du bassin de la Korama et se situe aux cotes actuelles de 400 à 420 m. Ce rivage correspondrait à celui d'un Paléotchad antérieur à la formation de l'erg 1.

La seconde ligne de rivage est marquée par la séquence morphologique de la base des ergs de Gouré et de Gidimouni, et par l'embouchure ancienne des rivières de bordure du Mounio et de la Korama, vers les cotes de 370 à 375 m. Ce rivage serait celui d'une seconde extension lacustre postérieure à l'erg 1, caractérisée par des dépôts de diatomites et de calcaires lacustres et correspondant aux "grands lacs à diatomées" du Paléolithique supérieur de H. FAURE (1962).

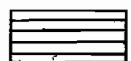
La morphologie du cordon de Tal permet de supposer de une à deux lignes de rivage, postérieures à l'erg 2 et correspondant à des fluctuations Néolithiques du lac; elles seraient séparées par un épisode plus aride durant lequel se serait formé le cordon de Tal. Ce sont des invasions mineures, de plus faible extension auxquelles il convient peut être de rattacher la formation des limons calcaires surmontant les diatomites : (Extension 3 : 320-330 m), et les dépôts fins du Kadzell en relation avec un alluvionnement de la Komadougou (Extension 4 : 300-290m) (Planche ).

La comparaison avec les travaux de J. PIAS (1957-1958) et de J. BARREAU (1958) au Tchad, et de A.T. GROVE et R.A. PULLAN (1961) en Nigéria est satisfaisante pour la succession des principales variations du Lac et pour la formation des cordons, mais elle n'apparaît pas possible directement pour les types de dépôts qui semblent avoir été fortement marqués en République du Tchad par l'important système hydrographique allogène du Logone Chari.

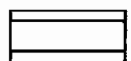
### LIGNES DE RIVAGE ET EXTENSIONS DU LAC TCHAD DEPUIS LA FIN DU TERTIAIRE



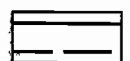
PALÉOTCHAD 1



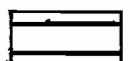
Paléotchad, antérieur à l'erg ancien



Extension 2 : Grand lac à diatomées du paléolithique supérieur

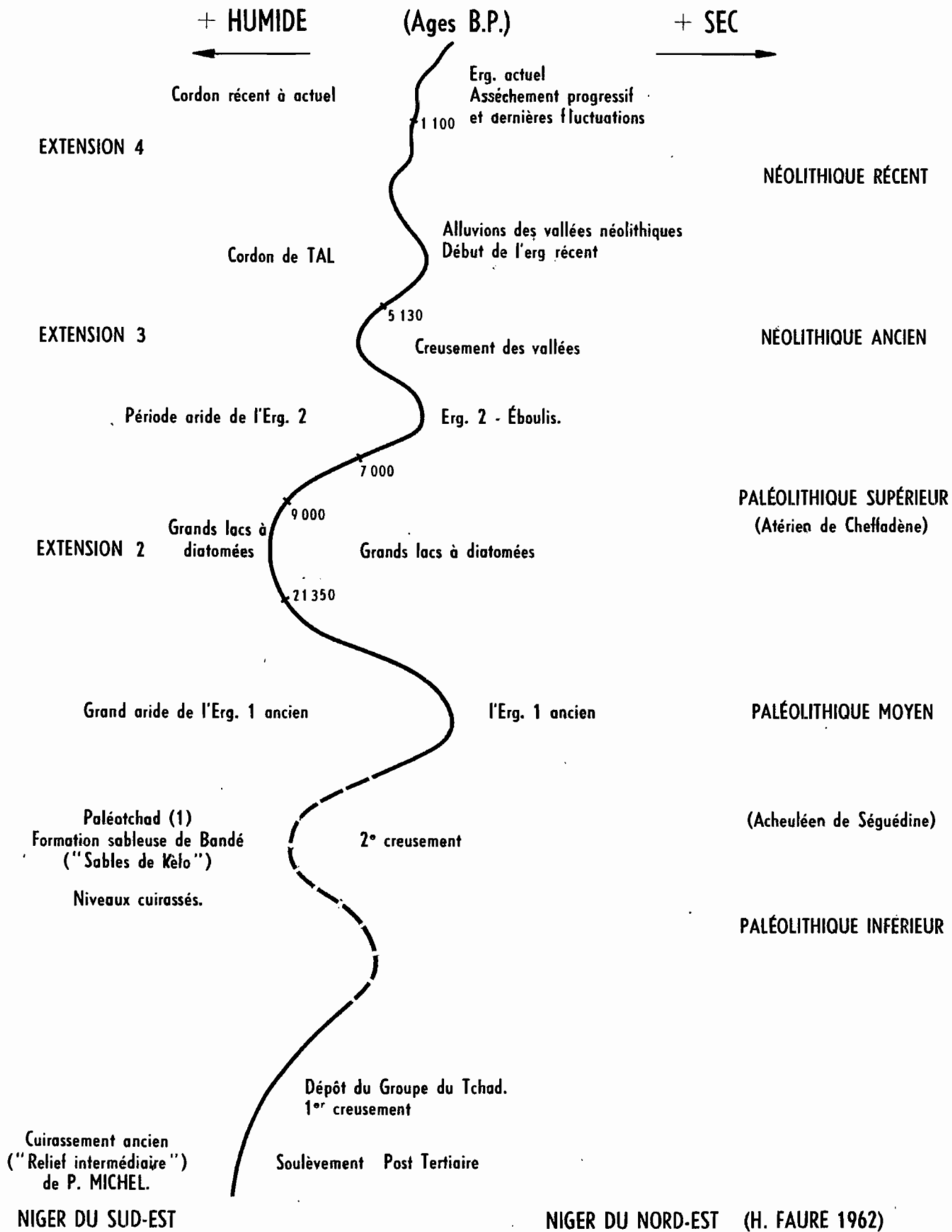


Extension 3. du néolithique ancien



Extension 4 du néolithique récent et système alluvial de la Komadougou.

# COMPARAISON AVEC L'ESSAI DE COURBE CLIMATIQUE de H. FAURE (1962)



## II-D LES FACTEURS BIOLOGIQUES

### II-DI LA VEGETATION :

Les variations mésologiques provoquent des modifications floristiques et physionomiques des peuplements végétaux. Les changements de formations (aspect des individus, hauteur, densité) sont plus généraux et simples que ceux des associations (groupements d'espèces), aussi subordonnerons nous la nature floristique des peuplements à leur aspect physionomique. Nous employons la nomenclature forestière d'AUBREVILLE en y ajoutant des subdivisions fondées sur la nature du tapis herbacé (KOECHLIN.- AUDRY P. et ROSSETTI Ch.).

#### DI-I Répartition zonale de la végétation et principaux paysages Végétaux.

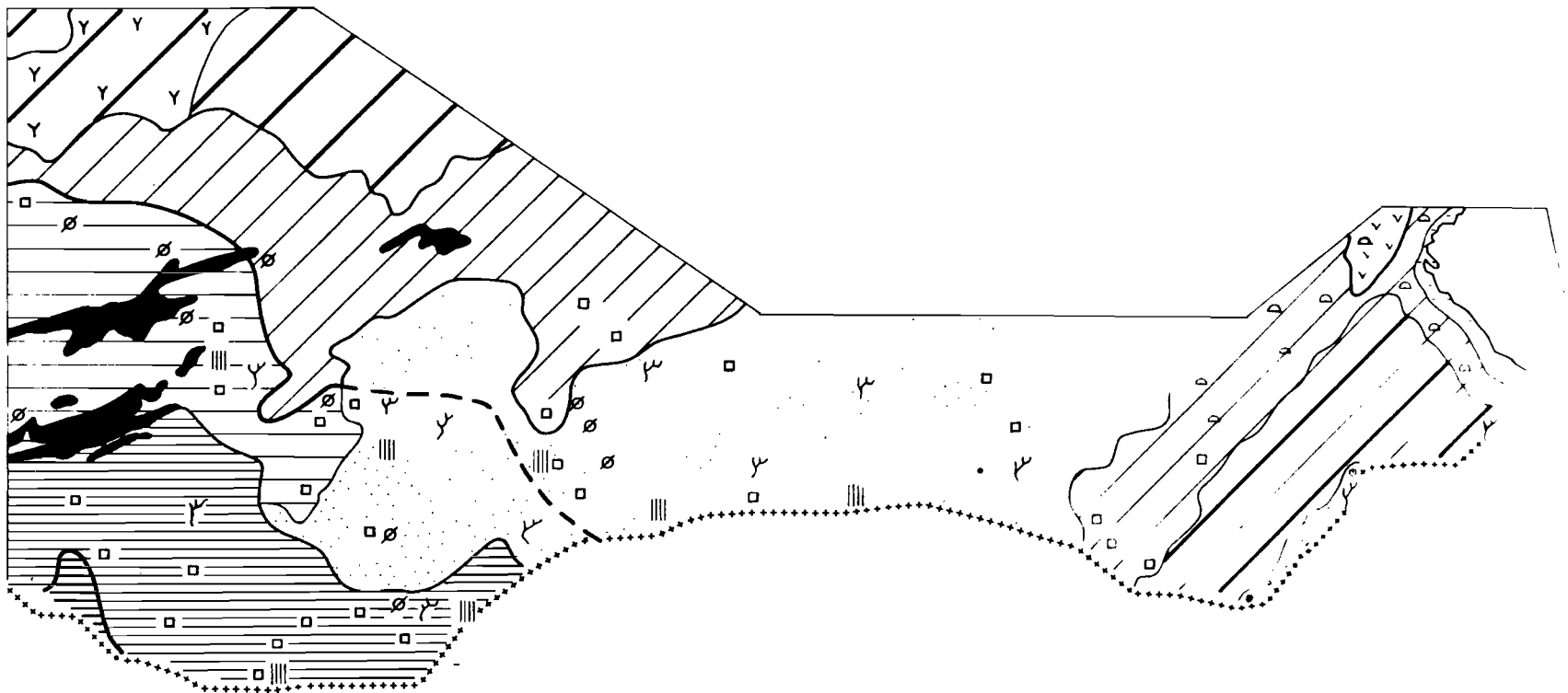
Du Sud au Nord la baisse de la pluviométrie entraîne une réduction progressive et l'appauvrissement floristique du couvert végétal, qui montre une succession ordonnée souvent largement modifiée par des formations édaphiques (PL I9).

La Province Boréale des Forêts Claires et des Savanes Boisées se manifeste sous les aspects généralement très dégradés au-dessous d'une ligne oscillant entre les isohyètes 400 mm et 500 mm. Tout à fait vers le Sud, vers 620 mm, la savane arborée à *Butyrospermum Parkii*, trouve sa limite septentrionale; elle coïncide avec des terroirs intensément cultivés où quelques *Parkia biglobosa*, *Prosopis africana* dominant de rares jachères à *Andropogonées* vivaces. Un palmier, *Borassus flabellifer*, caractérise les surfaces à nappe phréatique peu profonde. Jusqu'à 500-550mm on observe ensuite des savanes arborées à *Combretacées*, essentiellement à *Combretum glutinosum* et *Terminalia avicennoides*, ce dernier plus particulièrement psammophile le tapis herbacé est variable : typiquement à *Cténium élégans* et *Loudetia togoensis*, plus rarement à *Aristida longiflora* et *Hyparrhénia dissoluta* (vivaces) en sol très sableux, parfois à *Andropogon gayanus*, *Andropogon amplexicaulis*. Vers l'Ouest apparaissent les premiers éléments de la Savane boisée à *Boswellia Dalzielii*, plus largement représentée au NIGER Central. Les jachères,

<p>TYPE DE FORMATION</p> <p>Définitions, A. AUBREVILLE et J. KOECHLIN/</p>		<p>Bush à Combrétacées.</p>	<p>Savanes herbeuses</p>	<p>Formations du Kadzell</p>	<p>Galleries Komadougou</p>	<p>Prairies saales du Tchad</p>
<p>Province boréale des forêts claires et des savanes de boisement</p> <p>Savanes arborées à <i>Butyrospermum Parkii</i></p> <p>Savanes arborées à Combrétacées.</p> <p>Savanes à <i>Guiera</i>.</p> <p>Bush à Combrétacées.</p>						
<p>Province boréale occidentale des formations steppiques et désertiques.</p> <p>Steppes et savanes à épineux (<i>A. Raddiana</i>)</p> <p>Tapis herbacé vivace (<i>Andropogon</i>)</p> <p>Tapis herbacé annuel (<i>Aristida</i>)</p> <hr/> <p>Steppes arbustifs à <i>Commiphora</i></p> <p>Tapis herbacé annuel continu</p> <p>Steppes arbustifs à <i>A. Flava</i>.</p> <p>Tapis herbacé annuel discontinu</p> <hr/> <p>Steppes herbeux</p> <p>Tapis discontinu vivace xérophile</p>						
<p>Peuplements divers à <i>Faidherbia albida</i></p> <p><i>Sclerocaryn Birrhoa</i></p> <p><i>Hyphaene Thebaica</i></p> <p><i>Salvadora persica</i></p> <p>Tapis herbacé à <i>Andropogon</i></p>						

## VÉGÉTATION - NIGER ORIENTAL

ESQUISSE DE LA RÉPARTITION DES PRINCIPALES FORMATIONS VÉGÉTALES ET DE QUELQUES  
ESPÈCES REMARQUABLES.



ÉCHELLE 1 2 500 000

moins fréquentes que dans la zone à Karité, sont caractérisées par *Bauhinia reticulata*, particulièrement dans la région de Dungass - Malwa, par ailleurs envahie par le palmier *Hyphaene thebaica*. Au-delà, jusqu'à la limite Nord de la province, s'étendent de maigres savanes à *Guiera sénégalis* se juxtaposant à des Bush à Combrétacées (essentiellement *Combretum micranthum*). Le tapis herbacé est le même, sauf sur les zones à sols très sableux où domine largement *Aristida longiflora*.

La Province Boréale Occidentale des Formations Steppiques et Désertiques couvre le Nord de notre zone de prospection. Dans cette zone à pluviométrie déficitaire un petit nombre d'espèces se groupent en formations variées très sensibles aux nuances édaphiques. La plus ubiquiste est la savane lâchement arborée à *Sclerocarya* (*Poupartia*) *Birrea* passant très progressivement vers le Nord au steppe arbustif à *Commiphora africana*, largement dominant au-dessous de 300 mm; dans le même sens le tapis herbacé à *Cténium élégans*, *Andropogon amplexans*, etc... se transforme progressivement en prairies courtes d'annuelles où domine *Aristida mutabilis*, et qui constituent les meilleurs pâturages sahéliens. Des rares jachères, les zones de parcours, sont envahies par *Cenchrus Biflorus* et *Cassia mimosoides*. Les steppes et savanes à épineux, à *Acacia Raddiana* (*Tortilis*) *Acacia laeta* et *Sénégal*, se localisent sur les sols dépressionnaires ou jeunes de la zone à *Sclerocarya*. Nos prospections n'ont pas atteint la zone d'extension climatique des steppes herbeux à graminées vivaces xérophiles (*Panicum turgidum*) des zones pré-sahariennes, dont la limite méridionale, visible sur les photos aériennes, suit l'isohyète 100mm au Nord du Manga.

#### DI-2 Formations végétales Edaphiques et Anthropiques :

Au NIGER Oriental, la pluviométrie est partout suffisamment basse pour que la végétation réagisse par sa composition floristique, sa physionomie sa répartition, aux conditions faisant varier la constitution du stock d'eau des sols et leur consommation par les plantes : texture, épaisseur, drainage interne et externe, sels. La péjoration du régime hydrique des sols entraîne généralement l'apparition d'espèces septentrionales au Sud de leur zone normale d'extension; on observe alors des îlots sahariens en zone sahélienne, sahéliens en zone soudanaise (province des forêts claires et savanes boisées). La destruction des formations naturelles, liée à une très ancienne occupation agricole, est très avancée au Sud de l'isohyète 300 mm.



## I2-I Les Formations contractées :

Dans les zones sèches la végétation tend à se rassembler, à se "contracter", dans les zones d'infiltration maximum des eaux, en délaissant les zones moins bien approvisionnées. En général le développement même de la végétation tend à maintenir ou accentuer cette hétérogénéité. Ces surfaces inégalement occupées dessinent des motifs géométriques souvent régulièrement reproduits sur de grandes surfaces et dus soit à la forme même d'inégalités topographiques répétées, soit à une adaptation optimum de la végétation au ruissellement. Le premier cas est celui de la végétation réticulée des ergs anciens, le second celui de la végétation en bande des versants peu pentus imperméables, ou des plaines argileuses. Il se produit une légère sélection des espèces entre zones inégalement couvertes, variable selon la pluviométrie.

Au Nord de l'isohyète 300 mm, la formation à *Slerocarya*, *Commiphora* est entièrement réticulée sur les ergs anciens, la principale modification floristique est alors formée par l'apparition d'un *Cymbopogon* dans les zones basses; la même formation tend à constituer des plages homogènes dans les dépressions où le substrat de la couverture sableuse est proche de la surface. Vers le Sud l'homogénéité de la couverture augmente et seules les dépressions interdunaires les plus profondes portent une végétation plus dense et nettement spécialisée : bois armés à gommiers.

Sur les sols imperméables du Damergou des épineux se concentrent autour des axes de drainage des versants et des plaines argileuses, réalisant une disposition en bandes convergentes; on observe, classés par xérophilie décroissante : *Acacia Flava* (présaharien), *Acacia seyal*, *Acacia pubescens*, *Acacia nilotica*. Nous n'avons pas vu de dispositions en bandes isohypses.

Dans toutes les zones d'affleurement du continental hamadien, qui chevauchent les deux provinces floristiques, et sont habituellement couvertes d'un busch à *Combretum micranthum*, on peut observer des plages de "brousse annelée", formation contractée à clairières dénudées rondes; ces dernières correspondent à un remblayage argileux carbonaté, elles sont entourées d'un bourrelet sableux non calcaire à *Combretum micranthum* et *Acacia macrostachya*, auxquels s'ajoutent quelques espèces sahéliennes telles que *Sclérocarya*, *Commiphora*, *Euphorbia balsamifera*...

## I2-2 Les formations Psammophiles

Les sols peu évolués pauvres en colloïdes minéraux qui se développent sur les sables les plus récents, qu'il s'agisse de remaniements des ergs anciens orientés (cordons longitudinaux au Nord de Takiéta, erg de Toufafiram) ou de la couverture sableuse du Manga et du bassin de la Korama, portent des savanes herbeuses pérennes d'où la végétation arborée peut disparaître complètement. Vers le Sud dans la province boréale des forêts claires dominent les tapis à graminées géantes (*Andropogon gayanus*, *Cymbopogon giganteus*,) dont il existe de remarquables exemples dans la région des "lacs", vers ALKAMARI. Vers le Nord apparaît puis domine *Aristida longiflora*, souvent exclusive, mais encore associée à *Andropogon amplexans* et *Hyparrhenia dissoluta* entre les isohyètes 400-500 mm.

## I2-3 Les Formations des sols imperméables

Dans la province des steppes les sols de ce type les moins bien irrigués naturellement portent une formation buissonnante très lâche à *Cordia Rothii* *Grewia tenax*, à touffes espacées séparées par des plages stériles, ou à nanothérophytes (*Tripogon minimus*), ou à graminées annuelles courtes telles que *Aristida Adscensionis*, *Schoenefeldia gracilis* : la végétation des plaines légèrement alcalisées du Kadzell en offre un bon exemple. Sur les argiles à saturation calcique vertisolique on observe plutôt des bois armés à *Acacia seyal* s'il n'y a pas de submersion temporaire prolongée; les mares argileuses sahéliennes sont caractérisées par les bois d'*acacia nilotica*.

Dans la province méridionale on note toujours le couple vertisol (sensulato) - seyal mais le *Mitragyna inermis* apparaît dans les zones d'inondation (région de Zinder).

## I2-4 Les Formations hydrophiles et ripicoles

Les formations exploitant une nappe à faible profondeur possèdent peu d'espèces arborées spécialisées; ces dernières sont les palmiers *Hyphaens thebaica* (doug) et *Borassus flabellifer* (ronier), plus méridional et dont la

limite Nord est la région Kanche-Matameye. En général elles sont formées d'espèces méridionales se maintenant en zone sèche grâce à l'appoint de la nappe: *Celtis integrifolia* et *Parinari macrophylla* du bassin de la Korkou. Les eaux permanentes des marais de la Kbirama et des lacs du Manga sont encombrées de typhaies.

Les berges de cours d'eau temporaires portent des galeries à *Anogeissus leiocarpus*, *Khaya senegalensis*, *Zisyrhus* sp.

#### I2-5 Les Formations des sols salés

Elles ne se distinguent pas des associations phréatophiles car les nappes sont, nous l'avons vu, assez peu chargée. Il convient toutefois de signaler les prairies à *Sporobolus* du Bord du Lac Tchad, les ceintures à *Eragrostis Cambessiadana* des mares ratronées, les *Tamarix gallica* des salines de ZOUNBA. De même la salure doit contribuer au rabougrissement général de la végétation du Kadzell Oriental, sans induire l'apparition d'espèces particulières. Le *Salvadora persica*, qui forme de beaux peuplements sur les cordons anciens et actuels, du lac, ne peut être considéré comme une plante de sols salés, en dépit de sa curieuse faculté d'accumuler des sels de sodium ou de potassium.

#### I2-6 Les Formations anthropiques

A l'intérieur de la zone cultivée il n'y a pas de formation naturelle qui ne soit pas fortement dégradée; le faciès dominant est celui d'une savane pauvrement arborée; la végétation n'a été respectée que sur les sols improductifs (fourrés des sols peu perméables, formations saxicoles à *Croton Zambesicus* sur grés continentaux, à *Lanea fructicosa* sur granites du Mounio) ou dans les zones d'élevage septentrionales, actuellement grignotées sur leur lisière Sud (région d'Idrissarie). En contre partie de beaux peuplements à *Faidherbia albida* (Gao) ont été créés à la limite Nord de la Province Boréale des Forêts claires sur le territoire de l'ancien sultanat de Zinder.

### DI-3 Données Quantitatives :

Dans les zones sèches la végétation se met en équilibre quantitatif avec les réserves en eau des sols, donc avec la pluviométrie; cet équilibre s'exprime par le degré de couverture du sol et la production de matière sèche. Nous ne disposons pas encore de mesures concernant le NIGER Oriental. Il est possible d'y extrapoler les observations de BOUDET dans le HODH mauritanien faites dans une zone à pluviométrie de 250-300 mm, sous des savanes très lâchement arborées à Commiphora, Sclerocarya, Acacia Raddiana et sénegal, avec strate herbacée en général de type annuel, passant à des prairies mixtes (mélange de plantes annuelles et vivaces) à la faveur d'accidents édaphiques. Les mesures d'ADAM au DJOLOF (Sénégal) concernent la frange méridionale de cette même Province des Formations Steppiques : pluviométrie de 300-500 mm; savane à Combratum, Terminalia avicennoïdes, Sclerocarya, Commiphora, Acacia, jachères à Guiera; tapis herbacé mixte à Andropogon amplexans, gayanus, ou annuel (voir tableau I4, page suivante)

Donc dans la Province des Formations Steppiques une pluviométrie de 250 mm permet une couverture moyenne du sol de 35%, dont le cinquième seulement est assuré par les arbres ou arbustes; le couvert tombe à 14% en saison sèche. La surface offerte à l'érosion superficielle passe de la même façon de 70 à 92%. La production moyenne de la strate herbacée, de l'ordre de une à deux tonnes de matière sèche à l'hectare, est particulièrement élevée.

### I D-2 LA FAUNE ET LA FLORE DU SOL :

#### 2I-I La faune du Sol :

Il n'existe pas encore d'études spéciales sur ce sujet concernant la zone climatique qui nous intéresse. C'est en zone subaride, sur sols sableux, que l'on peut observer les effets mécaniques les plus spectaculaires de l'activité de la faune du sol :

-constitution de lits de sables déliés et de nebkas aux dépens des rejets non agrégés des terriers de rongeur, parfois en très grand nombre (NA 88 : 15/M2); les rejets d'insectes, agrégés, sont moins repris par le vent mais forment des lits de sables triés et des croûtes sous l'effet de la pluie.

- reconstitution de l'horizon supérieur aux dépens des horizons profonds, qui semblent également atteints, par les remontées.

- redistribution des fractions fines dans le profil : certaines galeries possèdent une paroi à enduits plus argileux que la masse du sol; il peut se former ainsi dans le sol le plus sableux une véritable armature résistante, formée par l'entrecroisement de minces lames cimentées, se traduisant souvent par un débit anguleux.

TABLEAU I4

COUVERT ET RENDEMENTS DES PATURAGES DU HODH ET DU DJOLOF

TYPE DE VEGETATION (HODH)	COUVERT en % de la surface totale		MATIERE SECHE Kg/ha			
	HIVERNAGE		SAISON SECHE			
STRATE HERBACEE	Extrêmes	Moyen- ne	Extrêmes	Moyen- ne	Extrêmes	SAISON SECHE extrêmes
Prairie mixte	18 à 43	30	3 à 14	8	910-1050	700 - 950
Prairie d'annuelle	21 à 46	29	0,5 à 29	8	1900-2400	X - 1500
STRATE ARBOREE						
Savane lâche arborée	2 à 13	7				
Bush d'acacias	23 à 26					
Bois armés de mares	1 à 28	12				
DJOLOF						
Prairie mixte						900 - 1700
Prairie d'annuelle						150 - 1100

2I-2 Le Microflore du Sol :

Les propriétés physiques et chimiques des sols, leur climat, règlent la nature, l'équilibre réciproque et les aptitudes écologiques des groupes physiologiques (DOMMERGUES) de bactéries, de champignons, d'algues. Ces groupes sont définis par de nombreuses fonctions biochimiques (ex : nitrification) aboutissant, pour l'essentiel, à la minéralisation partielle de substance organique. En première approximation, le taux de matière organique des sols dépend de l'équilibre qui s'établit entre les activités opposées de la microflore et des végétaux supérieurs et la faiblesse générale du niveau organique des sols du NIGER Oriental est due à ce que les microorganismes s'accoutument mieux des fortes températures et de la sécheresse que la végétation.

Ainsi l'optimum thermique d'une fonction de destruction de la matière organique (glycolyse) est de 40°, alors qu'il n'est que de 26° seulement pour la synthèse chlorophyllienne qui s'annule d'ailleurs pour cette même température de 40°. MOUREAUX, auquel est dû cette remarque, estime qu'au-delà de 26° les sols connaissent des conditions d'épuisement du stock organique par rapport aux saisons ou lieux thermiquement mieux situés. Or, les températures moyennes des mois de Juin à Octobre, saison de végétation active, sont comprises, à Zinder, entre 26°6 et 30°8 dans l'air et 28°6 et 33°2 dans le sol, à 30cm; elles sont défavorables à l'accumulation de matière organique.

En général les conditions optima d'humidité du sol pour le développement des deux groupes d'organismes sont voisines, et proches de la capacité de rétention (pF 2,7-3). Mais DOMMERGUES, que nous citons ci-dessous, a montré que l'activité de la microflore s'étendait beaucoup plus loin vers les faibles humidités que celle des végétaux supérieurs : "lorsque le sol se dessèche, son activité biologique globale tend à diminuer mais, contrairement à ce que l'on observe pour beaucoup de végétaux supérieurs, le pF 4,2 ne constitue pas un seuil marquant l'arrêt de cette activité. En effet, si, au-delà de ce pF, certains groupements de microorganismes cessent de participer aux processus évolutifs de la matière organique du sol, d'autres continuent à intervenir, parfois même avec un dynamisme accru, notamment aux environs du pF 5,0, la limite extrême de toute activité biologique correspondant au pF 5,5 ou même 5,6".

Il en résulte que la formation de matière organique s'arrête beaucoup plus tôt après la fin de la saison des pluies que sa destruction par les microorganismes. Celà est encore renforcé au NIGER Oriental par la grande extension des tapis herbacés à enracinement superficiel. Ce décalage est de l'ordre de 130 jours pour un sol "dior" de Bambey, comparable à un sol ferrugineux tropical peu lessivé de Matameye.

## II E L'ACTION DE L'HOMME

### II E I L'AGRICULTURE

#### EI-I LES CONDITIONS GÉNÉRALES

Les paysages du NIGER Oriental sont en général ceux d'un très vieux pays agricole auquel la pratique millénaire de la culture extensive à la houe a imprimé la plupart de ses caractères. Une pluviométrie réduite élimine progressivement les cultures tropicales qui finissent par disparaître pratiquement au Nord de l'isohyète 300 mm où les pâturages sahéliens les remplacent. En revanche la fraîcheur de la saison sèche autorise la culture irriguée de plantes de la zone méditerranéenne.

La civilisation agricole des cités Haoussa remonte historiquement au XI<sup>e</sup> siècle, mais nous n'avons pas de données sur la pression agricole exercée jadis sur les sols du NIGER Central. Il est important de noter toutefois l'association fréquente de débris de poteries, de sols anthropiques NA 5I (voir fiche), à des sols jeunes d'apport éolien, ces derniers limités en général à de petites buttes coiffant les reliefs dunaires sauf au KADZELL où presque tous les sols sableux bien drainés ont été tronqués lors de cette phase. La généralité et l'extension de cette association suggère l'existence d'une phase d'érosion éolienne assez récente (puisque les sols en dérivant sont des sols peu évolués) contemporaine des débuts de l'agriculture au NIGER.

De nos jours cette pression peut être évaluée par les chiffres suivants tirés des statistiques agricoles du Secteur Agricole Est pour 1960 :

- surface cultivée en 1960 : 8.560 Km<sup>2</sup>.
- surface à pluviométrie suffisante (plus de 300mm) : 47.000 Km<sup>2</sup>
- surface précédente à sols cultivables : 34.400 Km<sup>2</sup>



- pourcent cultivé de la superficie à limite climatique : 18%
- pourcent cultivé de la superficie à limite climatique et pédologique : 25%

En gros les sols cultivables sont occupés une année sur quatre, car il n'y a pas de zone étendue actuellement vierge de culture en dehors des sols peu évolués de la cuvette tchadienne que nous avons éliminés du calcul. C'est un chiffre global pour toute la zone à pluviométrie comprise entre 620 mm, où l'extension annuelle des cultures est plus élevée, et 300 mm, où elle est plus faible.

Les rendements des cultures non irriguées est fonction croissante de la pluviométrie dans la zone climatique qui nous intéresse. Nous ne possédons pas encore de précision chiffrée sur cette variation. On peut toutefois la vérifier sur le tableau I6 établi pour l'ensemble du NIGER. Pour fixer les idées nous donnons ci-dessous cette variation établie au Sénégal pour des sols assez voisins des sols nigériens, tirés d'une enquête de la SERESA.

TABLEAU I5

DECROISSANCE DES RENDEMENTS DU MIL ET DE L'ARACHIDE SELON LA PLUVIOMETRIE AU SENEGAL

Pluviométrie moyenne (mm)	Rendement arachide (Kg/ha)	Rendement Mil (Kg/ha)
450	310	325
550	450	340
650	600	370
750	850	420
900	930	530

Les résultats nigériens de 1960 montrent le même type de décroissance mais des rendements plus élevés, à pluviométrie égale : les rendements en mil varient de 300 à 550 Kgs, pour une pluviométrie comprise entre 300 et 500mm. La production de matière sèche est alors de 1000 à 1.500 Kgs/ha; c'est à peu près la même que celle des pâturages naturels.

## EI 2 LES PRINCIPALES PRODUCTIONS AGRICOLES (Tableau I6)

### I2I - Les cultures sèches.

Le mil pennisetum, parfaitement adapté aux pluviométries comprises entre 300 et 700 mm et aux sols filtrants, est la culture principale. Au-dessous de 300 mm il se localise dans les zones basses (creux interdunaires). A BAMBEY, P. VIDAL a montré que sa production croissait avec la pluviométrie dans la mesure où cette dernière, n'excédant pas l'évapotranspiration de chaque période végétative, ne lessivait pas l'Azote minéral du sol.

° Le Sorgho se cantonne sur des terres moins légères et surtout mieux arrosées; en effet sa grande zone d'extension climatique se fait vers 1.000 mm de pluies; à moins de 450 mm il n'existe pratiquement plus que sous forme de culture de décrue.

° L'arachide ne peut fructifier sur tous les sols sableux que vers 600 mm; au Nord de cet isohyète elle se localise dans les dépressions du modelé dunaire ancien et disparaît vers 450 mm.

° Le Nieve a la même zone d'extension climatique que le mil mais avec une plus grande indifférence quand à la qualité des sols.

° Le Manioc doux est cultivé en sol sableux jusqu'à 400 mm (YAGADJI) dans les mêmes situations topographiques que le sorgho.

### I2-2 Les Cultures à appoint d'eau édaphique et les cultures irriguées.

Le long cycle végétatif du coton qui débordé sur la saison sèche le localise sur les sols emmagasinant de fortes réserves en eau sans jamais être asphyxiants; sensible au froid (il demande plus de 20° pendant les 20 jours qui précèdent l'apparition des boutons floraux) il est éliminé de la plupart des terres de décrue sahéliennes en général libérées trop tard par l'eau; finalement la culture non irriguée du coton n'est possible que dans des sites édaphiques et topographiques très rares.

La rareté des cultures de Maïs s'explique de la même façon.

Le sorgho de décrue doit sa plus large extension à sa capacité d'utiliser les terres lourdes et imperméables dont il utilise les réserves en eau sans autre appoint, car il est peu exigeant en eau (on a mesuré une évapotranspiration de 120 mm dans le OUALO Sénégalais).

Inversement ce sont les fortes exigences en eau du riz irrigué qui expliquent sa rareté, malgré sa plasticité édaphique et son adaptation climatique. Toutefois il est probable qu'une certaine méconnaissance des techniques agricoles qui lui sont propres lui interdit encore de nombreux terroirs.

Ce sont, au contraire, des méthodes de culture complexes qui font le succès du blé dur le long de la Komadougou. Cette céréale est éliminée de la saison des pluies parce que la conjugaison de fortes températures et d'une humidité élevée lui est fatale. Elle est climatiquement cantonnée à la partie fraîche de la saison sèche. Nos observations nous ont persuadé qu'en outre, étant donné les moyens traditionnels d'irrigation qui ne peuvent que compenser partiellement l'évapotranspiration (chadouf ou calebasse), elle ne donne de bons rendements que sur les sols à volant hydrique appréciable, donc lourds, mais restant perméables. Les propriétés physiques des sols de la Komadougou sont telles qu'on y est obligé d'utiliser des sols assez légers, donc déficients quant au premier point.

La canne à sucre (de bouche) est liée, dans le bassin de la Korama, aux nappes phréatiques douces, proches de la surface de sols organiques et sableux : perchées sur la nappe générale. Cette disposition existe également dans la région des lacs de Kargerri-Alkanari où elle n'est pas utilisée.

Les cultures maraîchères sont également limitées à la saison fraîche elles sont théoriquement susceptibles d'une grande extension, car elles peuvent valoriser de faibles ressources en eau et des sols médiocres. En fait ce sont les possibilités d'écoulement de la production, et non les possibilités de consommation locale, qui les limitent, car les agriculteurs ont personnellement peu de goût pour les légumes. Actuellement ce sont les piments (sols assez lourds, climatiquement plus plastique) et les oignons (sols légers, confinés à la saison fraîche) qui sont les plus répandus.

## PRODUCTION AGRICOLES DU NIGER ET DU NIGER ORIENTAL EN 1960

Culture	NIGER (1960)		SECTEUR AGRICOLE EST (1960)	
	Pluviométrie	Rendement	% de la surface utilisée	Rendement moyen
MIL <sup>x</sup> ..... (394)	100-300 300-400 400-600	150 - 250 300 - 500 300 - 560	50	490
	600-800	350- 600		
Moyenne .....		425		
NIEBE (103)	300-700	40 - 180	18,5	145
Moyenne .....		124		
ARACHIDE (528) .....	300-400 400-600	200 - 500 300 - 530	18,0	572
	600-700	400 - 580		
Moyenne		468		
SORGHO (604)	100-300 300-400 400-600	400 400 - 600 400 - 600	12,5	534
	600-800	900 -1000		
moyenne		504		
MANIOC (5650)	100-300 300-400 400-600	5000 4000-8000 4000-10000	0,6	8.300
	600-800	4000-9500		
Moyenne		7150		
CANNE à SUCRE			0,2	
PATATE		8350	0,2	7.000
CULTURES MARAICHERES			0,1	
POIS DE TERRE			0,1	700
MAIS (820)	100-800	450-3000		
moyenne		852	0,1	

x : NOTE : rendement moyen de la période 1933-1960.

Culture	N I G E R (1960)		SECTEUR AGRICOLE EST (1960)	
	Pluviométrie	Rendement	% de la surface utilisée	Rendement moyen
COTON (281)	100 - 300	200		219
	300 - 400	100-200		
	400 - 600	200-250		
	600 - 800	200-500		
moyenne		257		
BLE (1090)		1917		1040
RIZ (830)		910		411
OIGNONS		20.750	négligeable	22.800
TABAC		323	négligeable	385
POMME DE TERRE			négligeable	20.000

### 12-3 Conclusions

Nous résumons ci-dessous les observations précédentes; elles ne sont valables que dans le contexte technique agricole local

#### + Cultures de saison chaude

- ° sans limitation pluviométrique

MIL NIEBE

- ° avec limitation pluviométrique  
/sans limitation édaphique  
/avec limitation édaphique

SORGHO  
MANIOC

sols sableux

ARACHIDE

sols lourds perméables

COTON  
MAIS

sols de nappe organiques

CANNE A SUCRE

sols à engorgement de surface

RIZ

#### + Cultures de saison fraîche irriguées

- /sans limitation édaphique  
/avec limitation édaphique

CULTURES MARAICHÈRES

sols lourds perméables

BLE DUR

Selon les rendements et les surfaces cultivées en ha. on peut évaluer l'exportation annuelle des sols du NIGER Oriental en éléments fertilisants. Pratiquement elle est due à l'ensemble mil-sorgho-niébé-arachide et porte surtout sur les sols sableux :

	N	P	K
quantités exportées en Kgs, par hectare cultivé :	10,8	2,6	5,6
par hectare cultivable :	2,7	0,6	1,4

## IIE-2 L'ELEVAGE

L'association permanente de l'élevage et de l'agriculture n'est que localement (région d'AWANDAWARI) réalisée. Habituellement les grands troupeaux nomades pendant la saison sèche descendent du Sahel, où ils s'étaient cantonnés pendant la saison des pluies, vers les terres méridionales débarassées de leurs récoltes en utilisant souvent comme axe de pénétration les pâturages naturels édaphiques des sols peu évolués, des vallées fossiles. Ils prennent toutefois l'essentiel de leur nourriture sur les terres de culture, en échange d'une fertilisation organique appréciée et souvent organisée par entente entre éleveurs et agriculteurs. Le bétail regagne le Nord en début de saison des pluies.

La limite entre zone d'élevage et zone de culture semble être imposée par les agriculteurs au NIGER Oriental; elle dépend alors des conditions pluviométriques du moment; ces dernières années, bien arrosées, ont vu les cultures de mil gagner vers le Nord (région d'Idrissari); la précarité de ces installations agricoles nouvelles est accentuée par une destruction rapide des horizons superficiels des sols, dans cette zone marginale on n'observe pas cet équilibre existant plus au Sud entre l'état morphologique des sols, leur utilisation agronomique, et la végétation. La même observation peut s'appliquer aux sols subarides peu évolués de la cuvette tchadienne, de certaines parties réjuguées de grands ergs, (erg de Toufafiram, de Yagadji, de Garagoumza), dont des populations nomades semi-sédentarisées cherchent à tirer un parti agricole.

D'après les estimations du service de l'élevage en 1958, recueillies par FAURE, la charge en bétail sur l'ensemble des anciens cercles de Gouré, Nguigmi, Maine Soroa, Zinder, Magaria, serait, compte tenu de l'estimation de la fraction non recensée :

17,8 bovins    36,9 ovins et caprins,    3,2 animaux de bat  
pour un Km<sup>2</sup> à pluviométrie supérieure à 100 mm

On ne peut préciser davantage, le lieu de recensement et celui de l'élevage ne coïncidant pas toujours.

### III-3 CONCLUSIONS

L'utilisation des sols du NIGER Oriental par l'homme a été suffisamment longue et reste suffisamment intense pour être prise en considération dans l'interprétation des profils, en particulier dans celle des taux de matière organique. L'existence de sols vierges y est problématique, même dans les zones d'élevage climatiques ou édaphiques. L'équilibre entre la fertilité naturelle des sols, la pluviométrie, les techniques traditionnelles est atteint. Le facteur principal d'augmentation de la production est la réduction de la durée des jachères; elle ne peut être obtenue dans le système agronomique ancien.

O. R. S. I. O. M.

*Direction générale :*

24, Rue Bayard, PARIS 8<sup>e</sup>

*Service Central de Documentation :*

80, Route d'Aulnay, BONDY (Seine)

*Centre de Recherches Pédologiques de HANN*

B. P. 1386 DAKAR



RÉPUBLIQUE DU NIGER

Ministère de l'Économie Rurale  
Service du Génie Rural.

G. BOCQUIER et M. GAVAUD

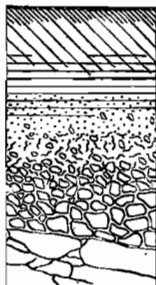
Février 1964

# ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DU NIGER ORIENTAL

RAPPORT GÉNÉRAL

Édition provisoire

TOME II



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER



CENTRE DE RECHERCHES PEDOLOGIQUES DE HANN-DAKAR

# S O M M A I R E

	<u>PAGES</u>
INTRODUCTION.....	81
LEGENDE CARTOGRAPHIQUE (avec index des renvois au texte).....	82
I SOLS SUBARIDES TROPICAUX ET SOLS PEU EVOLUES INTERGRADES VERS LES SOLS SUBARIDES TROPICAUX.....	88
IA GENERALITES.....	88
IA1 Définitions.....	88
IA2 Extension.....	90
IB LES SOLS SUBARIDES BRUNS ET LES SOLS BRUNS.....	90
IB1 LES SOLS BRUNS SUBARIDES SUR FORMATION SABLEUSE DU CORDON DE TAL ET DU CORDON DU LAC TCHAD.....	91
BII Les sols bruns et sols bruns peu évolués du Cordon de Tal.....	91
BI2 Les sols bruns peu évolués du cordon du Lac Tchad..	97
BI3 Les sols bruns des buttes sableuses du Kadzell.....	98
BI4 Conclusions.....	98
IB2 LES SOLS SUBARIDES BRUNS PEU EVOLUES DE L'ERG DE TOUFAFIRAM.....	100
IB3 LES SOLS BRUNS CALCIMORPHES.....	101
IB4 LES SOLS BRUNS A DRAINAGE REDUIT.....	104
B4I Définitions.....	104
B42 Les sols bruns au drainage réduit des chaînes de sols ferrugineux peu lessivés.....	105
B43 Les sols bruns à drainage réduit des chaînes de sols subarides brun rouge.....	108
B44 Les sols bruns tirsiformes.....	111
B45 Conclusions.....	113
IB5 CONCLUSIONS GENERALES.....	113
IC LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE.....	114
ICI LES SOLS PEU EVOLUES D'APPORT INTERGRADES VERS LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE.....	115
CII Les sols brun rouge peu évolués sur la formation sableuse fine du MANGA.....	115
CI2 Les sols brun rouge peu évolués sur sables des ergs orientés transversaux.....	121

CI3 Les sols brun rouge peu évolués sur sables des ergs orientés...	I23
IC2 LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE EVOLUES TYPIQUES SUR SABLES DES ERGS ORIENTES.....	I25
C21 Les sols brun rouge des ergs transversaux de la bordure tcha- dieme.....	I26
C22 Les sols brun rouge des ergs réticulés et des ensablements peu épais septentrionaux.....	I31
C23 Conclusions sur les sols subarides brun rouge du Manga et des ergs orientés.....	I37
IC3 LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE EVOLUES COMPLEXES .....	I39
C31 Les sols subarides brun rouge sur ensablements localisés de massif.....	I39
C32 Les sols subarides brun rouge complexes du Kadzel.....	I46
C33 Les sols subarides brun rouge durcis de glacis.....	I54
ID CONCLUSIONS SUR LES SOLS SUBARIDES DU NIGER ORIENTAL.....	I64
II LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX .....	I67
IIA GENERALITES.....	I67
IIA1 DEFINITIONS.....	I67
IIA2 EXTENSION.....	I67
IIB LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES.....	I68
IIB1 MORPHOLOGIE GENERALE ET EXTENSION.....	I68
IIB2 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES A TACHES OU CONCRE- TIONS SUR GRES ARGILEUX ET LES SOLS ASSOCIES.....	I69
B21 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES A TACHES OU A CONCRE- TIONS.....	I69
B22 Les sols à caractères hérités de sols ferrugineux tropicaux lessivés.....	I73
B23 Les sols calcimorphes des brousses annelées.....	I78
B24 Conclusions.....	I80
IIC LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES.....	I80
IICI DEFINITIONS.....	I80
IIC2 EXTENSION.....	I81
IIC3 LES SOLS PEU EVOLUES INTERGRADES VERS LES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES.....	I81
C31 Les sols ferrugineux peu évolués sur la formation sableuse des ergs orientés.....	I81

C32	Les sols ferrugineux peu évolués sur la formation sableuse du Manga et de la Korama.....	I88
C33	Les sols ferrugineux peu évolués sur les ensablements de massifs rocheux.....	I94
C34	Conclusions.....	I94
IIC4	LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES EVOLUES.....	I97
C4I	Généralités.....	I97
C42	Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur la formation sableuse des ergs orientés.....	I97
C43	Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur mélange de sables éoliens et de matériaux issus de grès argileux.....	2I3
C44	Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur mélange de sables éoliens et de matériaux issus des granites alcalins de Zinder.....	2I7
C45	Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur mélange de sables éoliens et de matériaux issus de roches métamorphiques du Damagaram.....	222
C46	Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur la formation sableuse de Bandé.....	226
C47	Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à actions de nappe en profondeur sur la formation sableuse de Malwa.....	23I
C48	Résumé des propriétés des sols ferrugineux peu lessivés.....	239
IIC5	LES SOLS NON HYDROMORPHES DE LA COUVERTURE SABLEUSE DU NIGER ORIENTAL.....	244
C5I	Morphologie.....	244
C52	Propriétés analytiques.....	247
C53	Interprétations.....	252
C54	Propriétés agronomiques.....	255
III	LES VERTISOLS.....	257
IIIA	INTRODUCTION.....	257
IIIAI	DEFINITIONS ET PROPRIETES GENERALES.....	257
AII	Définition.....	257
AI2	Modes de formation.....	257
AI3	Classification.....	258
AI4	Relations avec le climat et la végétation.....	259
AI5	Les vertisols du Niger Oriental.....	259
IIIB	ETUDE MONOGRAPHIQUE.....	262

	PAGES
IIIBI LES VERTISOLS LITHOMORPHES ET LES VERTISOLS D'ORIGINE MIXTE	262
BII LES VERTISOLS LITHOMORPHES A HORIZON DE SURFACE FINE SUR ARGILES GYPSIFERES DU DAMERGOU.....	262
BI2 Les vertisols d'origine mixte sur roches métamorphiques du Damagaram et du Mounio.....	267
IIIB2 LES VERTISOLS HYDROMORPHES.....	272
B2I Les vertisols hydromorphes des plaines argileuses du Damergou	273
B22 Les vertisols hydromorphes du Manga et du Bassin de la Korama	277
B23 Les vertisols hydromorphe des alluvions fluvio lacustres du Kadzell ET DES ALLUVIONS DE LA Komadougou.....	278
IV LES SOLS HALOMORPHES	
IVA INTRODUCTION.....	288
IVAI DONNES GENERALES.....	288
IVA2 L'HALOMORPHIE AU NIGER ORIENTAL.....	290
A2I Origine des sels	
A22 Localisation des sols halomorphes.....	291
IVB ETUDE MONOGRAPHIQUE DES SOLS HALOMORPHES DU NIGER ORIENTAL.....	292
IVBI LES SOLS SALES PAR L'EVAPORATION D'UNE NAPPE.....	292
BII Les sols salés par nappe de la couverture sableuse de la cu- vette tchadienne.....	292
BI2 Les sols salés par nappe des rives du lac Tchad.....	307
IVB2 LES SOLS DES DEPOTS DE COLMATAGE SALES DE LA CUVETTE TCHADIENNE	322
B2I LES SOLS DES DEPOTS SALES DU TCHIDI N'GOURBAYBE, DU TIOLDE, de LA TERRASSE DE SAYAM.....	323
B22 Les sols à alcali de la région de Dungass-Malwa-Magaria.....	326
B23 Les sols halomorphes sur alluvions fluvio lacustres du Kadzell et sur alluvions de la Komadougou.....	328
V LES SOLS HYDROMORPHES	
VA DEFINITIONS GENERALES CLASSIFICATION.....	334
VB ETUDE MONOGRAPHIQUE DES SOLS HYDROMORPHES.....	336
VBI SOLS A PSEUDOGLEY DE SURFACE, A TACHES ET CONCRETIONS.....	336
BII Les sols à pseudogley de surface sur alluvions et colluvions diverses.....	336
BI2 Les sols à pseudogley de surface peu évolués sur alluvions de la Komadougou et sur alluvions fluviolacustres du Kadzell ....	340

VB2	LES SOLS A HYDROMORPHIE PARTIELLE DE PROFONDEUR.....	34I
B2I	Les sols à gley, à taches et concrétionns, sur dépôts de colmatage d'ergs ou de massifs sableux.....	34I
B22	Les sols à pseudogley de profondeur, à taches et concrétions, sur dépôts de colmatage d'ergs et sur formation sableuse fine du Manga (Sols de Fayas).....	344
B23	Les sols à pseudogley à amas et nodules calcaires sur dépôts à diatomées.....	346



- I N T R O D U C T I O N -

Dans la présente étude les sols ont été ordonnés selon la classification des pédologues français (AUBERT G. 1962 et 1963), retouchée par MAIGNIEN. Elle est formée des unités taxonomiques suivantes (SEGALEN 1964) :

- la Classe : elle repose sur le degré et la nature physico-chimique de l'évolution.
- la Sous-Classe : elle est définie par un facteur écologique de base conditionnant l'évolution.
- le Groupe : les groupes différents entre eux par une particularité du même processus évolutif, et tout particulièrement par une forte variation d'intensité de ce dernier.
- le Sous-Groupe : il désigne une phase particulière de l'évolution du groupe ou fait intervenir un processus secondaire.
- le Faciès (ou Intergrade) constitue un stade d'évolution; nous l'avons utilisé uniquement dans la classification du groupe des Sols Peu Evolués Non Climatiques, et du sous-groupe des Sols à Pseudogley de Surface, à taches et concrétions.
- la famille: elle nomme la roche-mère ou le matériau originel (produit d'altération de la roche-mère) sur lesquels évolue le sol.
- la Série : elle se distingue à des différenciations de détail et réunit des sols ayant les mêmes horizons de différenciation identiquement arrangés dans le profil. Nous ne l'avons que peu utilisée, mais elle est implicitement définie par la description de chacun des profils cités.

Le texte de cette étude a été divisé en chapitres correspondant chacun à une classe, une sous-classe ou un groupe et contient tous les éclaircissements désirables pour la compréhension de la classification détaillée employée dans chaque cas. Afin d'obtenir un exposé plus simple, nous avons décrit les Intergrades de la classe des Sols Peu Evolués en même temps que l'unité dont ils se rapprochaient le plus; ainsi, le Faciès des Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés Intergrade vers les Sols Subarides Brun-Rouge a été étudié au paragraphe traitant du Sous-Groupe des Sols Subarides Brun Rouge. Pour la même raison le Faciès des Sols à Pseudogley de Surface, à Taches et Concrétions, à caractères hérités de Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés a été décrit en même

temps que le group des Sols Ferrugineux Tropicux Lessivés.

L'élément pédologique de base que nous avons choisi pour la légende est la famille. Mais il n'est pas possible de porter sur une carte à cette échelle des unités entièrement pures à cet égard; en fait y sont dessinées des surfaces physiographiquement homogènes et couvertes de plusieurs types de sols à répartition et proportion connues (association). Nos unités cartographiques sont de trois types :

- unité correspondant à une famille :
- unité formée par une association de familles, correspondant au même matériau; les sols diffèrent entre eux par le régime de drainage.
- unité formée par une association de familles correspondant à plusieurs matériaux, cas le plus fréquent.

Dans tous les cas chaque unité est classée dans la légende au rang de la famille la plus étendue. Nous n'avons pas mentionné la ou les familles secondaires, pour gagner de la place, lorsqu'elle était évidente (vertisols).

Le plan suivi dans le texte renvoie la description de chaque unité aux différents chapitres étudiant la classe, la sous-classe ou le groupe auxquels appartiennent les familles la composant. Aussi a-t-on précisé dans chaque paragraphe, et principalement dans celui qui traite de la famille principale, le mode d'association des divers sols. La légende cartographique ci-dessous donne les renvois au texte nécessaires.

<u>LEGENDE CARTOGRAPHIQUE</u>	<u>CHAPITRE OU §</u>	<u>PAGE</u>
SOLS MINÉRAUX BRUTS (C.).....		
SOLS MINÉRAUX BRUTS NON CLIMATIQUES (S.C.).....		
<u>Sols Minéraux Bruts d'Erosion (G.).....</u>		
Lithosols sur roches diverses.....		
Cuirasses ferrugineuses.....		49
Sols Minéraux Bruts d'Apport (G.) .....		
Sols Eoliens (S.G.).....		
sur formation sableuse du cordon de TAL (f.).....	II	91

secondaires, pour gagner de la place. Cartographie des sols ferrugineux (association).



<u>SOLS PEU EVOLUES (C.)</u> .....		
SOLS PEU EVOLUES NON CLIMATIQUES (S.C.).....		
<u>Sols peu Evolués d'Apport (G.)</u> .....		
Sols peu Evolués d'Apport bien Drainés (S.G.).....		
Intergrade vers les Sols Subarides Bruns (F.).....	IB	90
sur formation sableuse du cordon de TAL (f.)....	IB11	91
sur formation sableuse du cordon du lac TCHAD(f.)	IB12	97
sur formations sableuses des ergs orientés (f.)		
sols de l'erg de Toufafiram (ss).....	IB2	100
Intergrade vers les Sols Subarides Brun Rouge(F.)	IC-1	II5
sur formation sableuse fine du MANGA (f.).....	IC-11	II5
en association avec des :		
Sols à Alcalis (As.).....	IVBII	292
Sols à Croûte Saline parfois Sulfatée(As)	IVBII	292
Sols Hydromorphes des Fayas (As.).....	VB22	344
Vertisols d'origine mixte (As.) .....	III B22	277
sur formation sableuse des ergs orientés (f.)	ICI2-ICI3	I2I-I23
en association avec des :		
Sols Hydromorphes sur grès (As.).....	II B22	I73
Sur formation sableuse du cordon de TAL (f.) .....	ICII5.	I20
Intergrade vers les Sols Ferrugineux Non ou Peu lessivés (F.).....	IIC3	I8I
sur formation sableuse du MANGA et de la	IIC32	I88
KORAMA (f.) en association avec des :		
Sols à Alcalis sur limons calcaires (As.)	IVBII,	292
Sols à Alcalis et des Sols Hydromorphes (A.)	IVBII VB2I	292-34I
sur ensablements des massifs rocheux (f.)	IIC33	I94
en association avec des :		
Sols peu Evolués d'Apport bien Drainés du MOUNIO (As.)..	IIC33	I94
sur formations sableuses des ergs orientés (f.)	IIC3I	I8I
Sols de la vallée du GOULBI N'KABA (ss.)...	IIC3I	I8I
en association avec des :		
Sols Hydromorphes sur grès argileux (As.)	IIB22	I73
Sols mal drinés dominants		
Sols bien drainés dominants		

Sols à engorgement de nappes à carbonates (As).	IVBIIVB2I	322-341
<u>Sols peu Evolués d'Erosion (G.)</u>		
sur argiles gypsifères du Damergou (F.)		
en association avec des :		
Vertisols Lithomorphes (As.)	III BII	262
<u>VERTISOLS (C.)</u>	III	257
VERTISOLS HYDROMORPHES (S.C.).....		
<u>Largement Structurés dès la Surface (G.) .....</u>		
sur alluvions des cours d'eaux temporaires (f.)		
Sols des plaines argileuses du DAMERGOU (ss.)	III B2I	273
sur alluvions fluvio-lacustres de KADZELL(f.)	III B23	278
en association avec des :		
Sols Halomorphes, Hydromorphes et Subarides	IVB23-VBI2-	328-340
Brun Rouge complexes (As.)	IC32-	I46
VERTISOLS LITHOMORPHES (S.C.)		
<u>A Horizon de Surface à Structure Fine (G.)</u>		
sur argiles gypsifères du DAMERGOU (f.)	III BII	272
en association avec des :		
Sols peu Evolués d'Erosion (As.)		
VERTISOLS D'ORIGINE MIXTE	III BI2	267
sur roches métamorphiques en DAMAGARAM et du MOUNIQ(f.)	IIIB/2	267
<u>SOLS STEPPIQUES (ISOHUMIQUES) (G.)</u>		
SOLS STEPPIQUES A PROFIL SATURE (S.C.)		
<u>Sols Subarides Tropicaux (G.) .....</u>	I	88
Sols Bruns (S.G.).....	IB	90
sur formation sableuse du cordon de TAL (f.).....	IBII	91
Sols Brun rouge (S.G.).....	IC	II4
Sols Brun Rouge typiques		
sur formation sableuses des ergs orientés (f.)	IC2	I25
en association avec des :		

Lithosols sur Cuirasses ferrugineuses conglomératiques du DAMERGOU (As.)		49
Sols Brun Rouge Complexes.....	IC3	I39
sur recouvrements sableux du KADZELL (f.).....	IC32	I46
sur ensablements de massifs rocheux (f.) .....	IC3I	I39
en association avec des :		
Sols peu Evolués d'Apport et des Sols Hydromorphes du KOUTOUS (As.) .	II B22	I73
Sols de glacis et des Sols peu Evolués d'Apport du Mounio (As.)	IC33	I54
Sols Brun Rouge Durcis de Glacis.....	IC33	I54
sur grès et argiles sédimentaires du DAMERGOU (f.) en association avec des :		
Sols Bruns Tirsifiés et des Vertisols .....	IB44.	III
<u>SOLS HALOMORPHES (C.)</u>	IV	288
Sols Salins et Sols non Lessivés à Alcalis (G.)		
<u>SOLS A SESQUIOXYDES FORTEMENT INDIVIDUALISES (C.)</u>		
<u>SOLS FERHUGINEUX TROPICAUX (S.C.)</u>		
<u>Sols Ferrugineux Tropicaux Non ou Peu Lessivés (G.)</u>	IIC IIC4	I80-I97
Sols Non ou Peu Lessivés Typiques (S.G.)		
sur formation sableuse des ergs orientés (f.)	IIC42 & 43	I97-2I3
en association avec des :		
Sols Hydromorphes sur grès argileux (As.)	IIB22	I73
sur mélange de sables éoliens et de matériaux issus des granites alcalins de ZINDER (f.) en association avec des:	IIC44	2I7
Sols Hydromorphes et des Lithosols sur Cuirasses ferrugineuses (As.)	VBII	336
sur mélange de sables éoliens et de matériaux issus des roches métamorphiques du DAMAGARAM (f.) en associa- tion avec des :	IIC45	222
Sols de Glacis et des Sols Hydromorphes (As.)	IC33VBII	I54-336

Sols non Lessivés à Action de Nappe en Profondeur (S.G.) sur formation sableuse de MALWA (f.) en association avec des :	II C47	23I
Sols Hydromorphes et des Sols Calcimorphes sur limons calcaires (As.)	VB2I-IB3 IVB22	34I-IOI 326
Sols à Profil Epais et Homogène (S.G.) sur formation sableuse de BANDE (F. et ss.)	IIC46	226
<u>SOLS HYDROMORPHES (C.)</u>		
SOLS A HYDROMORPHIE TOTALE (S.C.)	V	334
<u>Sols à Hydromorphie Totale Temporaire (G.)</u> Sur formation sableuse de bordure du Lac TCHAD (f.) Sols à variations de salure suivant celle du Lac Tchad(ss).	IVBI2	307
SOLS A HYDROMORPHIE PARTIELLE DE SURFACE (S.C.)	VBI	336
Sols à Pseudogley de Surface (G.)	VBI	336
Sols à Taches et Concrétions (S.G.)	VBI	336
Sols à Caractères Hérités de Sols Ferrugineux Tropicaux lessivés (F.) sur grès argileux (f.), en association avec des :	IIB22	
Lithosols et des Paléosols Erodés (As.)	IIB2I	I69
Sols à Hydromorphie de Surface (F.) sur alluvions du GOULBI N'KABA (F. et ss.)	VBII	336
Sols à Hydromorphes peu Evolués (F.) sur alluvions de la KOMADOUGOU, en association avec des:	VBII4 VBI2	340 340
Sols Halomorphes, des Vertisols, et de Sols Subarides Bruns (As.)	IVB23-III IBI3-IB43	328-278 98-IO8
SOLS A HYDROMORPHIE PARTIELLE DE PROFONDEUR (S.C.)	VB2	336
<u>Sols à Gley (G.)</u> Sols à Taches et Concrétions (S.G.) sur dépôts de colmatage d'ergs ou de massifs sableux (f.) en association avec des :	VB2I	34I
Sols Halomorphes (Sols à Natron) (As.)	IV BII	292

Sols à Pseudogley (G.)

Sols à Amas et Nodules Calcaires (S.G.)

sur dépôts à diatomées (f.)

VB23 346

sur dépôts sableux du lac TCHAD (f.)

IVBI2 307

---

A B R E V I A T I O N S :

CLASSE = C.

GROUPE = G.

FACIES = F

SOUS-CLASSE = S.C.

SOUS-GROUPE = S.G.

Famille = f.

GROUPEMENT DE SERIES : ss.

LES SOLS SUBARIDES TROPICAUX

---

I - SOLS SUBARIDES TROPICAUX ET SOLS PEU EVOLUES INTERGRADE  
VERS LES SOLS SUBARIDES TROPICAUX

I A - GENERALITES

IA-I DEFINITIONS

Les sols subarides tropicaux appartiennent à la classe des sols isohumiques steppiques ou pseudosteppiques, caractérisés par l'accumulation dans le profil d'une matière organique très évoluée à taux décroissant progressivement sur plus de 30 cm. Ils constituent le groupe unique de la sous-classe IV, définis par une teneur en matière organique relativement réduite, par un complexe saturé, et correspondant à un pédoclimat chaud pendant une courte saison des pluies.

Le groupe lui-même est désigné comme "sols bruns arides" dans la classification française, "sols bruns tropicaux des régions arides et subarides" dans la légende de la carte des sols de l'Afrique du Sud du Sahara du S.P.I., et comme "sols subarides tropicaux" par Maignien.

Ce dernier en retrace les processus d'évolution fondamentaux de la façon suivante :

- 1°/ répartition homogène de la matière organique à travers le profil, cette matière organique est peu abondante, très minéralisée, et provient de la décomposition des racines des plantes herbacées (steppisation).
- 2°/ individualisation sensible des sesquioxydes, accompagnée de migrations dans le profil ou la chaîne faibles ou nulles.
- 3°/ un léger lessivage en cations, souvent accompagné d'immobilisation des carbonates en profondeur.

Les deux sous-groupes, sols subarides bruns et sols subarides brun-rouge, ont été définis par le même auteur de la façon suivante :

Les sols subarides bruns ont un profil homogène de faible épaisseur (moins de 150 cm), de couleur foncée, sans horizons nettement différenciés.

Les sols subarides brun-rouge possèdent en surface un horizon humifère épais d'au moins 50 cm, de couleur brune, assez bien structuré; les horizons profonds sont d'une couleur rousse caractéristique, jamais durcis.

Nous avons adopté entièrement la définition ci-dessus des sols bruns alors que l'examen des sols nigériens nous a amené à élargir celle des brun-rouge.

"sols minéraux dépourvus d'horizon lessivé non humifère, à horizons supérieurs humifères bruns ou plus faiblement colorés sur au plus 20 cm, reposant sur un horizon de couleur, généralement rouge, souvent structural (horizon B).

Cette définition est assez proche de celle que donne D'HOORE pour les sols bruns tropicaux des régions arides et subarides (SFI).

Nous avons dû en outre distinguer des termes peu évolués dans chacun des deux sous groupes :

sols bruns peu évolués : ils se distinguent par leur faible épaisseur et des traces de matière organique.

sols brun rouge peu évolués : B à peine rougi se distinguant mal soit de l'horizon supérieur soit du matériau.



## IA-2 EXTENSION

La limite méridionale des sols subarides, élément essentiel de la carte, traverse cette dernière du NW au SE en oscillant entre les isohyètes 300 et 500 mm. La zone des sols subarides est formée par la cuvette tchadienne à l'Ouest de Kargerri, et de Gouré, les ergs orientés au Nord de Guidimouni et de Gouré, le Koutous, les versants Est et Nord du Goulbi N'Kaba, le Damerrou.

### IB - LES SOLS SUBARIDES BRUNS ET LES SOLS BRUNS

En dehors de la zone subaride, géographiquement définie par l'extension des sols brun rouge à tous les sites normalement drainés, existent un grand nombre de profils que leur teinte foncée et leur homogénéité amènent à classer comme sols bruns. On les rencontre alors :

- soit sur des dépôts meubles calcaires : sols bruns calcimorphes

- soit en position de drainage externe ralenti, telle que les bords de mares temporaires ou interdunes; ils passent alors latéralement, en position mieux drainée, à des sols ferrugineux; il est alors difficile de les séparer nettement des sols hydromorphes qui leur font suite généralement en bas de chaîne ; pour le faire on a utilisé les critères suivants (milieu arénacé) :

teinte brune et non grise ou noire (sol hydromorphe)

absence de ségrégations, ou en nombre insuffisant pour caractériser un horizon.

En zone subaride, c'est également dans ces deux sites que se développent la plupart des sols bruns et nous <sup>ne</sup> les avons rencontrés en position actuellement bien drainée que sur les formations sableuses des rivages anciens et actuels du Tchad : cordon de Tal, cordon du lac.

Il n'existe donc qu'une famille de sols bruns subarides, sur cordons sableux du Tchad, à des stades divers d'évolution ou de rajeunissement.

IB1- LES SOLS BRUNS SUBARIDES SUR FORMATION SABLEUSE DU CORDON DE TAL ET DU CORDON DU LAC TCHAD

Nous les avons subdivisés en quatre grands types correspondant à quatre ensembles morphologiques :

- sols bruns peu évolués du Cordon du lac
- sols bruns peu évolués et rajeunis de la bordure orientale du cordon de TAL, ce rajeunissement par érosion éolienne allant jusqu'au stade du sol minéral brut du "désert" de Tal.
- sols bruns du cordon de TAL.

B11- Les sols Bruns et sols bruns peu évolués du Cordon de Tal.

111- Morphologie :

Le type moyen morphologique est représenté par le profil NB 69; on l'a observé au Nord du cordon, dans une zone faiblement ondulée, sous une formation contractée à *Acacia tortilis*, *Commiphora africana*, avec tapis de graminées annuelles dominées par des touffes de *Panicum turgidum* :

En surface 3 à 4 cm de sables déliés brun jaune grisâtre recouverts d'une pellicule de poussières éoliennes

- |         |  |
|---------|--|
| 0-3 cm  | IOYR 5,5/2; brun grisâtre, parcouru de lits plus foncés organiques et riche en rejets blancs légèrement <u>ocrés</u> ; finement sableux; des fentes fines tous les 25cm; structure feuilletée (2 sur 4 cm); cohésion moyenne à faible; porosité d'assemblage de grains moyenne; nombreuses radicules, horizontales à obliques. |
| 3-10cm  | IOYR 5,5/3; brun jaunâtre, contrastant faiblement avec l'horizon supérieur; semble humifère; pas de ségrégations structure massive, débit à faces planes; cohésion faible; porosité de même type; chevelu fin abondant.  |
| 10-85cm | IOYR 6/3,5; s'éclaircit très progressivement vers la base, devient jaune clair; pas de ségrégations; paraît encore humifère; structure plus nettement particulaire; enracinement toujours très fin, plutôt vertical.   |

85-220 cm - s'éclaircit nettement de 85 à 130 cm; au-dessous sables fins blanc jaunâtre IO YR 7,5/3.

Ce profil est caractérisé essentiellement par une teinte sombre uniforme s'éclaircissant progressivement vers la base; les niveaux distingués sont plutôt des stades de coloration que de véritables horizons, la différenciation structurale ne va pas au-delà d'une très légère augmentation de cohésion sur les 10 premiers centimètres; on n'observe pas de rubéfaction. Tout au sommet on note un enrichissement en matière organique par lits, probablement formés par enfouissement de débris végétaux sous des rejets ou des sables déliés libérés par le piétinement et plus ou moins repris par le vent en saison sèche. Cet horizon à structure feuilletée est le seul que l'on puisse encore observer sur les sables semi-fixés du désert de TAL et de la bordure Nord-Ouest du cordon.

Le profil NB 83, observé sous un steppe herbeux à *Panicum turgidum*, représente une forme juvénile des sols bruns, instable et incessamment rajeunie par action éolienne dont les formes d'accumulation sont détruites par érosion hydrique en rigoles pendant la saison des pluies.

en surface croûte pluviale de moins de 1mm, formée par un film noirâtre (algues) recouvrant une pellicule de sables clairs déliés mais nettement compactés (splash); c'est cette fine couche apparemment peu perméable qui forme la surface de ruissellement des ravines du talus.

0-5cm brun pâle; formé par l'empilement de lits plus organiques et compacts et de lits de sables fins brun jaune pâle; texture sableuse fine; structure à tendance feuilletée disparaissant au sommet où on note un débit nuciforme; porosité de type intergranulaire; cohésion faible;

5-14cm brun jaune très clair, aspect strié; quelques stries semblent légèrement organiques; structure pratiquement particulaire, néanmoins la cohésion, très faible, suffit à mettre en évidence un débit en feuilletés; nombreux trous d'insectes.

14-25cm un peu plus brun; parcouru de nombreuses stries noirâtres ressemblant à la croûte pluviale actuelle; très finement sableux, se débite en mottes plus ou moins nuciformes; cohésion très faible; nombreux trous.

25-43cm sables fins brun jaune très clair homogènes; structure particulière à cohésion très faible; nombreux trous de 0,5 cm.

Enracinement :

divergent; des radicelles et chevelu abondants dans les 3 premiers horizons; devient ensuite très faible.

Interprétation :

Les niveaux à stries ou à lits organiques correspondent aux périodes de fixation des sables vifs; les horizons homogènes sableux particuliers sont de petites nappes de sables éoliens immobilisés autour des touffes de graminées

Le terme extrême de rajeunissement, de non évolution, des sols bruns est représenté par les sols minéraux bruts éoliens du désert de Tal (voir fiche NB 84)

Inversement la partie méridionale du cordon de TAL, parfaitement stabilisée, porte des sols plus évolués où un début de rubéfaction apparaît dans un horizon légèrement ocré situé sous l'horizon humifère; ainsi le profil NB 7I (voir fiche) montre un maximum de coloration vers I4 cm, imparfaitement rendu par le brun jaunâtre IO YR 5/4 du Munsell.

II2 - Propriétés analytiques :

° matière organique : la profondeur des profils, définie par une teinte brune appréciable à l'oeil, est de l'ordre de 130 cm; elle peut s'abaisser à 35 cm dans les sols moins évolués. L'examen du taux de matière organique montre qu'il existe la plupart du temps une discontinuité dans la vitesse de décroissance de ce chiffre située à 25-30 cm. Cette discontinuité permet donc de définir un horizon supérieur plus nettement, quoique fort peu, humifère; en effet les taux varient de 0,20 à 0,25% en surface; vers 1m subsistent des traces (0,1%). Les divers stades d'accumulation de la matière organique observés, depuis les sols minéraux bruts jusqu'aux sols bruns évolués sont les suivants :

- sables vifs éoliens : 0,03% de matière organique
- sables vifs à stries organiques (croûte pluviale) : 0,07-0,09%
- horizon humifère brun homogène (steppique) : 0,25%
- horizon humifère à lits de débris organiques : 1,35%

Ce dernier horizon très mince (2-3cm), coiffe l'horizon humifère homogène proprement dit, dont la formation est habituellement attribuée à la décomposition des racines in situ (steppisation).

Les quantités d'azote sont infimes, de l'ordre de 0,15 pour mille en surface; le rapport C/N est fort bas, mais ses variations ne sont pas interprétables dans les profils, du fait de la faiblesse des quantités dosées; il est en moyenne de l'ordre de 10; la matière organique est donc fortement minéralisée. Il existe une exception : le C/N de l'horizon à lits organiques non humifiés du NB 69, qui est de 32.

° texture : les sables du cordon de Tal sont caractérisés par leur finesse (0,15 à 0,2 mm de mode) et un tri très poussé; les taux d'argile et de limon ne varient pas dans le profil, sont très faibles, 3 à 4%, mais plus élevés que dans le matériau lui-même, où ils restent inférieurs à 1,5%; cette limite est proche du taux correspondant des sables vifs : 0,3 à 0,8%.

° sesquioxydes de fer : Les horizons moyens sont légèrement plus riches en fer libre que l'horizon de surface (rapport 1,08-1,06) et que le matériau (1,04). Le rapport fer libre/fer total est bas et ne montre pas de variations systématiques dans le profil : 40 à 50% en surface, irrégulièrement plus élevé en profondeur. Le matériau et certains échantillons de sables vifs ont des rapports extrêmement bas de l'ordre de 25%. Le taux de fer total varie peu autour de 0,5% dans les sols évolués et s'abaisse à 0,3% dans les sables vifs. Le fer est donc peu mobile mais l'individualisation des hydroxydes est déjà sensible.

° Ph : le Ph est de 7,4 en surface; il peut s'abaisser ensuite d'une quantité inférieure à 0,5 Ph sur les 30 premiers centimètres, dans les types évolués, puis augmente fortement pour atteindre Ph 8,5 dans le matériau. Dans les sols jeunes le Ph augmente dès le sommet; enfin les sols minéraux bruts de Tal ont des Ph de 8; dans ce dernier cas les chutes de poussière carbonatées peuvent expliquer de si hautes valeurs.

° La somme des bases échangeables varie de 2 à 3 méq, en surface des sols évolués, de 1 à 2 méq dans le matériau; la capacité d'échange est saturée à 95% en surface, à 100% en profondeur. L'équilibre des bases est le suivant :

$$\begin{aligned} \text{Ca} + \text{Mg}/\text{Na} + \text{K} &= \text{IR à } 20 \\ \text{Ca}/\text{Mg} &= 3 \text{ à } 5 \\ \text{K}/\text{Na} &= 0,3 \text{ à } 0,7 \end{aligned}$$

soit un complexe à cations bivalents dominants, avec prédominance du calcium et du sodium dans leurs groupes.

Dans les sols peu évolués, et en particulier dans les sols ou horizons à sables vifs, la capacité d'échange, de l'ordre de 1,5 à 2,5 méq, est toujours saturée. En outre l'analyse décèle des traces de carbonates de calcium ou magnésium (moins de 0,5%), qui peuvent expliquer les Ph élevés et le maintien de la saturation en surface. L'équilibre des bases est peu différent :

$$\begin{aligned} \text{Ca} + \text{Mg}/\text{Na} + \text{K} &= 50 \text{ à } 100 \text{ (sables vifs)} \quad 7 \text{ à } 30 \text{ (sables semi-fixés)} \\ \text{Ca}/\text{Mg} &= 0,5 \text{ à } 2,5 \\ \text{K}/\text{Na} &= 0 \text{ (sables vifs)} \quad 0,1 \text{ à } 1 \text{ (sables semi-fixés)}. \end{aligned}$$

on note un appauvrissement relatif en Ca et en K.

En résumé on observe un très léger lessivage des bases dans les sols brun évolués, se traduisant par une chute très faible du coefficient de saturation en surface et une augmentation relative des taux de Ca et K, en admettant que l'équilibre initial est celui que l'on observe dans les sables vifs et qui assez voisin de celui des sols des poussières éoliennes :

$$\text{Ca} + \text{Mg}/\text{Na} + \text{K} = 5,7$$

$$\text{Ca}/\text{Mg} = 1,6$$

$$\text{K}/\text{Na} = 0,7$$

° propriétés physiques : ces sables possèdent une perméabilité relativement basse de 0,5 à 0,6 cm/h

° fertilité chimique : très pauvres en azote les sols bruns évolués sont relativement mieux pourvus en  $\text{P}_2\text{O}_5$  :

$$\text{N} : 0,1 \text{ à } 0,2\%$$

$$\text{P}_2\text{O}_5 : 0,1 \text{ à } 0,5\%$$

### II3 - Utilisation :

Ils portent des cultures de mil pénicillaires, rares, uniquement au Sud-Ouest, au Nord de Boudoum; la limite naturelle de la zone cultivable passe à Kasalouwa, 5 Km au Sud-Ouest de Seyam. Les profils des sols sont définis par NB7I (horizons profonds brun ocre); le paysage est une savane lâchement arborée à *Faidherbia*. Au NE lui succède une formation arbustive à *Commiphora* et *Acacia tortilis* sur un modelé plus fortement ondulé et instable; les profils y sont définis par NB 69. Dans cette zone la pluviométrie (moins de 350mm) et l'instabilité superficielle des sols vis à vis de l'érosion éolienne provoquée par la destruction du couvert végétal (horizons à stries organiques) ne permettent qu'une utilisation pastorale. Il en est de même de tous les sols brun jeunes du cordon du lac et de la frange Nord-Ouest du cordon.

### II4 - Cartographie et Extension :

Les sols bruns évolués ont été cartographiés sur une bande s'étendant sur 140 Km du SW au NE et large de 10 Km à 20 Km, les sols des cuvettes à limons et diatomites inclus dans cet ensemble n'ont pas été dessinés. Les sols bruns peu évolués <sup>sont</sup> limités vers le Nord-Ouest à une frange plus étroite s'étalant progressivement vers le Nord, elle-même parsemée d'ilôts à sables vifs (sols minéraux bruts) envahissant les crêtes des ondulations et confluant au Nord pour former le "désert de Tal". La disposition de cet ensemble par rapport aux sols rubéfiés du Manga et du Kadzell, ainsi que la répartition des divers stades d'évolution doivent être attribués à leur structure de formations de rivage du lac Tchad. L'évolution en sols bruns pourrait elle-même être due à un régime de drainage particulier. L'instabilité des sols de dunes

du cordon doit être rapprochée de celle des bourrelets dunaires des cuvettes du Manga et de façon plus générales de ceux des vallées fossiles (ex : Korama).

BI2 - Les sols bruns peu évolués du cordon du lac Tchad.

I2I - Morphologie :

Le profil NB 88 a été décrit à une quinzaine de kilomètres de NGUI-GMI, sous une savane lâchement arborée à *Acacia tortilis* et *Salvadora persica*; à touffes de *Panicum turgidum* (espèce saharienne) :

en surface 5 à 6 cm de sables déliés.

0 - I7 cm IOYR 6,5/3; brun très clair, texture sableuse à grains moyens bien calibrés; structure à tendance nuciforme en assemblage compact; cohésion faible; très riche en sables particulaires; bonne porosité chevelu abondant ramifié.

I7- 52 cm IOYR 7,5/4; jaune très clair; homogène; même texture; structure massive à débit non orienté; cohésion très faible, est presque particulaire; enracinement très fin et dense; vertical.

Il se résume à une faible accumulation de matière organique sur I7cm; sous l'action des racines se développe une structure nuciforme; la forte porosité du sol est celle du matériau.

I22 - Propriétés analytiques :

On note de faibles taux de matière organique (0,20%), bien minéralisés (C/N de 10), une faible mobilité des hydroxydes (fer libre/fer total de 45%), un complexe saturé, avec un équilibre des cations voisin de celui que l'on observe dans le cordon de Tal. Les Ph sont très élevés dès la surface (8,0), et restent supérieurs à 7 en profondeur. Cette particularité est vraisemblablement due à l'apport de poussières salées par le vent prélevées en surface des sols à alcalis des rivages.



° fertilité chimique - l'équilibre phosphore/azote est en faveur du premier : 0,4-0,5‰ contre 0,11-0,20‰; la fertilité est médiocre. Le facteur limitant, avec la pluviométrie, est toutefois l'épaisseur insuffisante du sol.

### I23 - Extension-Cartographie :

Ces sols forment une mince frange continue en bordure du lac; vers le Sud elle disparaît à Boso; vers le Nord elle rejoint le cordon de Tal. Elle ne montre pas de variations pédologiques en latitude, bien que la granulométrie reflète celle des rivages actuels et s'affine progressivement vers le Sud. Elle a donc été uniformément cartographiée.

### BI3 - Les sols bruns des buttes sableuses du Kadzell

Entre la Komadougou et le cordon de Tal la grande zone à sols subarides brun rouge complexes est parsemée de buttes sableuses d'une élévation inférieure à 5m. Sur un matériau arénacé dont la finesse et l'homogénéité sont celles des dépôts du Kadzell se développent des sols bruns dont la morphologie est voisine de celle des sols bruns évolués du cordon de Tal, comme le montre le profil NB5, observé près de Diffa (voir fiche).

Leurs propriétés analytiques diffèrent sur les points suivants :  
taux de matière organique plus élevé : 0,4% en surface; Ph moins élevé, légèrement inférieur à 7.

La répartition et la mobilité des hydroxydes, l'équilibre des cations sont les mêmes. La fertilité chimique est moyenne; ils sont légèrement déficients en phosphore. La texture, trop légère, leur interdit les cultures irriguées.

### BI4 - Conclusions relatives aux sols subarides bruns des cordons :

La présence de sols moins évolués sur la partie topographiquement la plus ancienne du cordon de Tal est une preuve du rajeunissement éolien de formations sableuses anciennes : ce rajeunissement se poursuit encore actuellement dans le Tal, et se manifeste dans le modelé du cordon du lac Tchad;

ce fait réduit la valeur chronologique d'une comparaison des stades d'évolution des sols de ces cordons, que suggérait la quasi-identité des matériaux, leur situation dans la même zone climatique, et leurs âges différents.

D'autre part l'action sur les sols de la variable climatique principale, la pluviométrie, ne peut être étudiée que sur la partie stable du cordon de Tal.

Ces réserves faites, nous résumons les propriétés de l'ensemble de la façon suivante :

A/- accumulation de faibles quantités (moins de 0,3% dans les horizons homogènes) de matière organique bien minéralisée (C/N : 10) avec discontinuité dans la répartition se situant au maximum à 30 cm.

..  
individualisation des hydroxydes, se traduisant par un rapport fer libre/fer total d'au moins 45% en surface (il est probablement de 25% dans les dépôts éoliens non évolués) sans qu'il y ait rubéfaction.

Ph et saturation du complexe élevés, probablement influencés par des apports salins éoliens.

B/- L'ensemble des sols évolués se distingue par une légère tendance à la migration des bases se manifestant dans les coefficients de saturation, les Ph, l'équilibre des cations, et par des rapports fer libre/fer total plus élevés, dépassant 70% dans certains horizons.

C/ Dans la zone stable du cordon de Tal, l'élévation de la pluviométrie se traduit par l'apparition d'un horizon plus ocre, l'augmentation d'épaisseur des profils, cette dernière définie par l'apparition de sables clairs homogènes (7/4 à 7/3 Munsell) :

SOLS BRUNS EVOLUES DE TAL			SOLS DU CORDON DU LAC		
Profil	Pluviométrie	Epaisseur	Profil	Pluviométrie	Epaisseur
NB 68	250 mm	80 cm	NB 88	230 mm	17 cm
NB 69	235 mm	110 cm			
NB 71	360 mm	145 cm			

CB-2 LES SOLS SUBARIDES BRUNS PEU EVOLUES DE L'ERG DE TOUFAFIRAM

Ce sont les sols très peu différenciés des grandes rides transversales de l'erg de Toufafiram, caractérisées en outre par un paysage végétal très particulier, formé par une vaste savane herbeuse à *Aristida longiflora* parcourue des bois armés de gommiers localisés dans les sillons interdunaires.

Le profil (voir fiche NA 98), en position bien drainée, est formé d'un horizon supérieur grisâtre épais de 50 cm, reposant sur des sables jaune rougeâtre très pâles. On n'observe pas de différenciation structurale nette.

La texture, sableuse, a la granulométrie typique des ergs orientés. Parmi les propriétés analytiques, certaines sont celles de sols bruns : taux de matière organique (0,35%), Ph élevé en surface (7,7). Par contre la baisse du Ph en profondeur (5,9), la mobilité du fer, assez élevée, (fer libre/fer total = 63%) correspondraient plutôt à celles de sols ferrugineux tropicaux. Pauvres en azote mais relativement mieux pourvus en phosphore, ces sols sont pratiquement dépourvus de bases échangeables : 1,5 méq, en surface, moins de 1 méq. en profondeur. Ce fait, joint à une très faible pluviométrie (moins de 400 mm), explique l'absence des cultures sur cet erg.

L'interprétation de ces profils est délicate et il est vraisemblable que l'on a affaire à des profils rajeunis à leur partie supérieure par reprise éolienne. La couleur et certaines caractéristiques des horizons profonds suggère d'anciens sols ferrugineux. Les sols complexes de ce type sont fréquents au voisinage des vallées fossiles (Goulbi Nkaba) et de façon générale sur les formes dunaires anciennes à modelé bien conservé (bourrelets, sommets de hautes dunes). L'originalité de l'erg de Toufafiram serait d'avoir subi une telle reprise sur toute son étendue.

IB-3 LES SOLS BRUNS CALCIMORPHES

3III - Morphologie :

Le profil NA 67 Dantiao se développe sur des sables très fins argileux, dans le réseau de dépressions à drainage externe déficient de la région Sud de Dungass :

- 0-32 cm      Gris : des taches ocre douteuses, finement sableux; fortement effervescent; structure massive, débit régulier à faces planes; cohésion faible; très forte porosité tubulaire fine, quelques canaux et tubes.
- 32-70cm      IOYR 4/I : gris noirâtre (plus organique que ci-dessus) de fines taches ocre et des remplissages plus clairs calcaires; même texture; très effervescent; présence de grains calcaire et de pseudo-mycélium; structure massive, débit à faces planes présence d'agrégats arrondis de 2 à 4mm (structure localement grenue); cohésion faible; porosité très fine et forte. Passe progressivement à :
- 70-125cm    2,5 YR 6/2; gris clair à blanc jaunâtre; quelques remplissages jaune ocre; très finement sableux, (limon); très calcaire, avec pseudomycélium et tubes concrétionnés calcaires; structure cubique et polyédrique (3 à 5 cm) en assemblage compact; cohésion moyenne à faible.
- 125-135cm   Niveau de concrétions (2 à 4 cm) et de rognons (5-10cm) arrondis ferrugineux, recouverts de pellicule calcaire; ciment très foncé noir et brun rouille à petites colithes ferrugineuses.
- 135 cm      Dépôt plus fin, blanc et compact, (limon calcaire); passant latéralement à un calcaire massif gris blanc.
- Adendum    Plus loin le niveau concrétionné se montre formé au sommet de concrétions de 1 cm et en bas de rognons.

Interprétation Le concrétionnement est vraisemblablement dû à un engorgement par nappe en milieu finement sableux.

L'aspect "brun" du profil est donné par la décroissance progressive d'une teinte foncée vers la base du profil, et l'absence de niveau à ségrégations. La structure, presque grenue, très poreuse est due à la présence de fortes quantités de calcium, ici présent sous forme de carbonates. Elle est d'autant plus remarquable que le type textural du profil, formé de sables fins argileux, se prête mal au développement de structures fragmentaires. La présence de carbonates figurés (mycélium et enduits) est vraisemblablement due à l'évaporation in situ d'une nappe carbonatée; dans ce profil ce processus a succédé à un concrétionnement ferrugineux de nappe.

Selon les profils nous avons noté les variations suivantes : couleur variant du gris brun (IOYR 4/I) au brun jaune (IOYR 6/4); structure toujours très poreuse dans les horizons supérieurs, massive, ou grenue, ou cubique à faces non lisses; taux d'argile dans l'horizon le mieux structuré de 5 à 13%; présence au moins de mycélium dans les horizons profonds toujours plus compacts; typiquement un niveau à amas calcaires friables (voir fiche NB 96 Geskerou) au sommet de la zone à pseudomycélium.

### 3I2 Propriétés analytiques

Tous les profils observés se développent sur des sables fins argileux, de texture sableuse à sablo-argileuse, à rapport argile/limon de l'ordre de 2 dans le Manga et la région Dungass-Malawa, de l'ordre de 3 dans le Kadzell.

° le taux de matière organique est de l'ordre de 0,5% en surface, puis décroît assez rapidement : 0,25% à 20 cm, 0,15% à 50cm, 0,06% à 40 cm; la zone de décroissance rapide du taux de matière organique, ou horizon humifère au sens large, varie de 50 à 70 cm en épaisseur, mais les 20 premiers centimètres concentrent la moitié du stock organique. Le rapport C/N est bas, de l'ordre de 9.

° Le Ph dépend de la présence des carbonates; il est supérieur à 7,6 lorsque le taux en dépasse 1% environ, mais ne dépasse pas 8,5 (22% de carbonates) Il ne descend pas au-dessous de 7,3 dans les horizons supérieurs lorsqu'ils sont décarbonatés. En général Ph et carbonates croissent vers la base du profil.

° Le complexe absorbant peut être légèrement désaturé en surface (minimum 81%), il est toujours saturé en profondeur. L'équilibre des cations est toujours en faveur du calcium; par ailleurs il est assez variable selon la zone géographique (voir étude des sols hydromorphes). Toutefois nous signalons le taux élevé en sodium du profil NA 67 (40% du complexe) qui est celui d'un sol à alcalis; mais plus généralement le sodium forme moins de 8% du complexe. Ces sols ne sont cependant jamais salifères. Etant donné la texture et le degré de saturation la capacité d'échange est relativement élevée : 4 à 20 méq.

Le rapport fer libre/fer total est supérieur à 75% en surface, et peut descendre à 45% en profondeur.

° La stabilité structurale est moyenne à médiocre; la perméabilité reste égale ou supérieure à 2 cm/h, même dans le cas du sol à complexe sodé, alors qu'elle n'est que de 1 cm/h dans les sols subarides bruns (texture finement sableuse).

La fertilité chimique est médiocre à basse.

### Conclusions

Dans ces sols un drainage interne légèrement limité, en milieu suffisamment poreux, favorise l'accumulation de faibles quantités de matière organique bien décomposée. La présence en profondeur d'une zone d'évaporation d'une nappe carbonatée, sans entraîner d'engorgement véritable, provoque l'accumulation de calcium, ce dernier augmentant la finesse et la stabilité de la structure.

Ce processus contrôle également le Ph, le degré de saturation, l'équilibre des bases, parfois à composante sodique notable, des horizons profonds. Secondairement, un rapport fer libre/fer total superficiellement très élevé, joint à la présence occasionnelle de traces de ségrégations ferrugineuses, sont attribuables à un léger engorgement temporaire de surface.

Ces profils doivent être considérés comme des cas limites, confinant simultanément aux sols hydromorphes de nappe, aux sols halomorphes, aux sols bruns à drainage réduit que nous étudions ci-dessous.

### 313 - Utilisation :

Les sols bruns calcimorphes du Kadzell sont recherchés pour les cultures irriguées de blé, piment, légumes. Les éléments favorables sont la texture, la perméabilité, la richesse en base, la moindre pauvreté en matière organique. Les techniques traditionnelles d'irrigation sans drainage y entraîne la formation de salant blant (natron).

### 314 - répartition géographique-cartographie :

Tous n'avons rencontré ces sols que sur les dépôts fins des cuvettes du Manga et de la région du Dungass-Malawa, et sur les alluvions fluviolacustres du Kadzell. Leur situation topographique est intermédiaire entre celle des sols à drainage interne ou externe limités (hydromorphes ou halomorphes), et celle des sols bien drainés (subarides ou ferrugineux). Ils se développent ainsi sur des franges à la périphérie de dépressions, sur des banquettes peu élevées dans les "fayas" du Manga, sur les bourrelets bas du Manga.

Leur extension n'a permis de les cartographier que dans la région du MALWA, en association avec des sols ferrugineux peu lessivés à action de nappe en profondeur, et des sols hydromorphes.

## IB-4 LES SOLS BRUNS A DRAINAGE REDUIT

### 34-I DEFINITION

Ce sont des sols à profil de couleur brune, sans horizons bien tranchés, dépourvus de ségrégations ferrugineuses dans la partie humifère du profil; on note le développement de structures fragmentaires qu'avec des textures suffisamment argileuses (sols dits "tirsiformes"); dans les sols se développant sur la couverture sableuse on note simplement des variations de porosité et de cohésion. Les sols bruns sont en position topographique intermédiaire entre celle des sols bien drainés et celle des sols hydromorphes.

dans les modelés dunaires transversaux anciens, ils forment souvent une ceinture entourant le fond du sillon interdunaire qu'ils peuvent occuper entièrement. C'est cette situation particulière, constante, qui fait attribuer leur formation à un mode de drainage particulier, encore à définir, et qui n'est pas celui des sols hydromorphes, car la trop grande proximité d'une nappe les fait disparaître. Ils sont plus fréquents dans les chaînes de sols subarides que dans celles des sols ferrugineux, en partie parce que l'effet de "brunissement" d'un ferrugineux à horizons de couleur mieux tranchés ne suffit pas à donner l'homogénéité requise, par définition, pour un sol brun.

B4-2 LES SOLS BRUNS A DRAINAGE REDUIT DES CHAINES DE SOLS FERRUGINEUX PEU LES-  
SIVES.

42I. Morphologie :

Le profil NA 2I MIRYA décrit ci-dessous, a été observé dans un sillon interdunaire de l'erg de Mirya; il passe latéralement à un sol ferrugineux peu évolué vers les zones hautes, à des sols hydromorphes carbonatés sur alluvions argileuses emboîtées dans l'erg ancien dans les zones basses; il existe une nappe en profondeur (de l'ordre de 5m). La végétation est formée par la prairie à *Aristida longiflora* parsemée de quelques *Faidherbia* et *Hyphaene*.

- 0-10 cm Brun grisâtre IOYR 5/3; pas de ségrégations; sables quartzeux bien calibrés; structure feuilletée sur 1 cm, devenant ensuite massive avec un débit plus ou moins nuciforme; cohésion faible à moyenne; porosité intergranulaire très fine et développée; porosité d'assemblage lâche très fine; enracinement très fin et dense oblique.
- 10-28 cm 7,5 YR 4/4; brun foncé, sans ségrégations; même texture; structure massive à débit: on orienté à faces mamelonnées, parfois polyédriques; cohésion légèrement plus forte restant faible; également plus poreux; enracinement vertical très fin et dense.



- 28-47 cm 7,5 YR 4/4 (plus rouge); brun ocre, très faiblement rougi; même structure, à cohésion plus faible; porosité réduite; enracinement décroissant vers la base de l'horizon qui le limite.
- 47-70 cm Décoloration progressive vers un beige clair, même texture; débit en mottes anguleuses à faces planes porosité et enracinement très nettement réduits.
- 70-200cm IOYR 8/3; sables blancs à ségrégations en auréoles jaune ocre à rouge orangé peu nombreuses mais bien réparties; débit massif à faces planes; dans tout l'horizon des remplissages venus des horizons supérieurs; dépourvu de racines.

On remarquera que cette description, au décalage des couleurs vers les teintes neutres près, est celle d'un sol ferrugineux peu évolué :

- horizon superficiel peu épais grisâtre
- horizon d'individualisation des hydroxydes, ici brun ocre, à teinte s'éclaircissant vers la base du profil.
- pas de différenciation structurale visible en dehors d'un maximum de porosité sous l'horizon humifère.

L'horizon blanc à ségrégations est celui que l'on rencontre habituellement à la base des sols à hydromorphie de nappe sur sables. L'épaisseur du profil, limitée aux sables blancs, varie de 70 à 100 cm; le décalage vers les teintes neutres est de 2 unités Munsell (chroma) par rapport aux horizons correspondants des sols bien drainés.

Dans les chaînes de sols ferrugineux peu lessivés évolués il existe des sols équivalents à horizons d'individualisation brun ocre (7,5 YR 4 à 5/4); mais l'épaisseur de l'horizon grisâtre (IOYR 5/3 à 6/4) est supérieure, pouvant atteindre 40 cm; en outre les phénomènes liés à la mobilité des sesquioxides et de l'argile sont plus importants; on observe habituellement des raies, au moins des niveaux à agrégats durcis, des concrétions ferrugineuses dans les horizons au toit d'une nappe. Il en résulte des profils trop diversifiés pour être classés comme bruns (voir NA 29 DOGO).

422 - Propriétés analytiques :

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de différences analytiques importantes entre ces sols foncés et les sols bien drainés prélevés dans la même chaîne; en particulier les taux, le type de répartition, et le C/N de la matière organique y sont vraisemblablement les mêmes. (0,3% au plus en surface, C/N de 9 à 10). Il y a légèrement plus de fer libre dans les horizons ocres et le rapport fer libre/fer total est élevé : 70 à 90% comme dans les sols ferrugineux. Les coefficients de saturation varient de 80 à 100 et les Ph de 6 à 7 en surface, et on n'a pu dégager de loi pour la variation verticale de ces chiffres. L'équilibre des bases est celui des sols bien drainés :

$$\text{Ca} + \text{Mg}/\text{Na} + \text{K} = 7 \text{ à } 14 \quad \text{Ca}/\text{Mg} = 3 \text{ à } 5 \quad \text{K}/\text{na} = 0,8 \text{ à } 1,8$$

mais les horizons profonds décolorés sont relativement plus pauvres en calcium et plus riches en sodium :

$$\text{Ca} + \text{Mg}/\text{Na} + \text{K} = 3 \text{ à } 10 \quad \text{Ca}/\text{Mg} = 0,9 \text{ à } 3 \quad \text{K}/\text{Na} = 0,3 \text{ à } 0,4$$

Comme ces horizons sont en outre plus pauvres en bases (1 méq contre 2 en surface), il est raisonnable d'attribuer cet équilibre à la présence de la nappe plutôt qu'à l'illuviation des bases lessivées de la partie supérieure. Il y a relativement plus de phosphore (0,25% à 0,55%) que d'azote (0,12% à 0,15%); la fertilité chimique est basse.

423 - Utilisation - Extension - Cartographie :

Leur position topographique favorise leur alimentation en eau et les a mis à l'abri des reprises d'érosion éolienne, qui ont tronqué de nombreux profils bien drainés peu évolués. L'épaisseur de l'horizon humifère y est ainsi plus constante, et ils concentrent les cultures dans les petits ergs du Sud-Ouest (arachide, mil) Ils existent dans toutes les unités à sols ferrugineux mais sur de très petites surfaces; on ne les a pas cartographiés ni mentionnés dans la légende.

B4-3 LES SOLS BRUNS A DRAINAGE INDUIT DES CHAINES DE SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE43I - Morphologie :

Le profil NB I6 Guidimouni a été décrit dans une dépression de l'erg de Guidimouni limitée par des dunes transversales à sols brun rouge, sous une prairie à *Adropogon amplexans* et *Cténium élégans* :

- 0 - 12 cm IOYR 5/2; brun grisâtre à remplissages plus ocre sableux, sables peu colorés; structure feuilletée cohésion moyenne à faible; très forte porosité; nombreuses et fines racines.
- 12 - 35 cm 7,5 YR 5/4; brun, plus ocre que le précédent, même texture; structure massive, débit à faces planes, cohésion faible; chevelu fin abondant : de nombreuses radicelles verticales.
- 35 - 45 .... 7,5 YR 4/4; brun (ocre), légèrement rougi; même texture et structure; cohésion faible; porosité très fine et forte.
- (s)....I50 IOYR 5/3 : (plus rouge); homogène.
- I50-200 cm IOYR 5/I (vers 200)
- .....220 Apparaît une teinte grisâtre; les sables sont décolorés.

Ce profil est formé d'un horizon d'individualisation brun ocre à teinte s'éclaircissant vers la base, sous un horizon humifère grisâtre peu épais. Les variations structurales sont infimes comme dans tous les sols de cette famille. Ce profil ne se distingue du brun rouge de la chaîne que par un décalage des couleurs d'une planche Munsell vers le Jaune (HUE + 2,5).

On observe aussi cette loi dans le Manga; mais comme les profils bien drainés sont peu rubéfiés, de teinte générale 7,5 YR, les sols bruns des chaînes ne sont plus brun ocre, mais brun jaune et la teinte générale est IOYR, qui est celle des sols hydromorphes, dont il est alors difficile de les distinguer, en dehors de l'apparition de ségrégations (PL I9 Fig 42). Nous

constatons également que les sols bruns à drainage réduit du Manga ont le même profil de couleur que les sols classés comme subarides bruns du cordon de TAL, (NB 71 SAYAM), malgré les différences actuelles de position par rapport à la nappe (Manga : 5m, Tal : 20m). Il est donc possible que ces derniers aient commencé leur évolution en position de drainage ralenti, par exemple alors que le lac Tchad stationnait au niveau 4 (cote 315). Ceci expliquerait aussi que l'on ait des types gris, en dehors de toute cause d'hydromorphie actuelle, dans le cordon (NB 69 SAYAM). Sur sables fins du KADZELL on a observé un profil brun décarbonaté à mycelium calcaire en profondeur, auquel nous donnons la même origine que celle du calcaire des sols bruns calcimorphes de la même région.

#### 432 - Propriétés analytiques

° texture : ce sont les mêmes sables que ceux des sols bien drainés aux variations de tri des sables d'interdune près (voir granulométrie des sables) acquises lors de la mise en place du modelé. Nous n'avons pu classer comme bruns aucun des profils observés sur alluvions emboîtés dans les ergs.

° matière organique : ils sont plus riches que les brun rouge; par exemple cet accroissement du stock organique est de 16% pour les premiers 50cm dans la chaîne NB 41 GOURE et de 45% dans la chaîne NB 15 GUIDIMOUNI. Le type de répartition est le même dans toute la chaîne. Le C/N est plus élevé dans les sols bruns, tout en dénotant encore une bonne évolution.

° sesquioxydes : leur répartition et leur taux sont ceux des brun rouge; le taux de fer libre est constant ou maximum sous l'horizon gris humifère généralement appauvri; le rapport fer libre sur fer total est moins élevé que dans les sols ferrugineux.

° bases et Ph : ce sont des profils presque saturés, dont l'équilibre des bases est celui des sols bien drainés, mais dont le Ph est plus faible de 0,3 à 0,2 unités (Tableau I7).

° fertilité chimique : basse à moyenne.

PROPRIETES ANALYTIQUES DE SOLS BRUNS A DRAINAGE REDUIT DANS DEUX CHAINES  
DE BRUN-ROUGE (erg de GOURE-GUIDIMOUNI).

SOLS BRUNS : VALEURS EXTREMES		VARIATIONS PAR RAPPORT AUX BRUN ROUGE
<u>Matière organique</u>		
à 10 cm	0,30	+ 0,10
à 50 cm	0,16-0,18	+ 0,2 à + 03
<u>C/N Moyen du profil</u>	8-II	+ 1 à + 2
<u>Sesquioxydes</u>		
(Fer libre/Fer total)%	55-70	: Néant
<u>Ph</u>		
Surface	6,7	- 0,3
profondeur	6,4	- 0,2
<u>Bases : coefficient de saturation</u>		
en surface	75-100	Néant
en profondeur	70-95	

433 - Utilisation - Extension - Cartographie :

Leur importance économique est relativement et localement plus grande que celle de leurs équivalents de la zone ferrugineuse, à la fois parce que leurs propriétés sont plus fortement modifiées dans un sens favorable par leur régime hydrique et parce que les variations de ce dernier sont plus décisives dans ces zones à pluviométrie insuffisante ou marginale. Les cultures les plus septentrionales se font sur ces sols et les sols hydromorphes qui leur sont associés. On les rencontre surtout dans les associations à brun rouge de la cuvette tchadienne, où toutefois nous n'avons pu ni les mentionner ni les cartographier faute d'extension suffisante; par exemple autour de la chaîne NB 73

GUIDIMOUNI la répartition des surfaces est la suivante :

sols bruns rouge, : 75% sols hydromorphes : 20% sols bruns : 5%

#### B4-4 LES SOLS BRUNS TIRSIFORMES

Dans le MOUNIO, le DAMAGARAM, le DAMERGOU, sur des matériaux de glaciaires au moins sablo-argileux et des dépôts de colmatage, on observe la chaîne, sols de glaces rougis et durcis, sol brun tirsiforme, vertisol ou sol hydromorphe. Le sol tirsiforme occupe la même position relative, à drainage ralenti, que les sols bruns de la couverture sableuse, dans leurs chaînes à brun rouge ou sols ferrugineux. Ce sont des profils à teinte foncée uniforme conservant en partie la nuance du sol bien drainé (brun rouge, brun jaune foncé), à structure fragmentaire cubique moyenne en surface, devenant prismatique en profondeur, parfois avec un très faible développement de faces lissées obliques. Cette définition morphologique s'applique aussi, en dehors de tout modelé de glaciaires, aux profils, les moins argileux, des flats alluviaux en zone subaride : plaines du KADZELL, vallées de la région d'Agades. Cette limite supérieure du taux d'argile, au-delà de laquelle s'observent des profils plus nettement vertisoliques, est de l'ordre de 30%.

Nous donnons ci-dessous le profil NA 38 ZERMOU, observé dans une plaine de colmatage du DAMERGOU, sous un steppe arbustif épineux à Acacia seyal :

- 0 - 5 cm Brun jaune à traînées gris brun; texture hétérogène allant d'argilo-sableux à sablo-argileux; parcouru de lits de sables grossiers; structure feuilletée; cohésion moyenne à faible; porosité tubulaire grossière.
  
- 5 - 45cm 7,5 YR 4/3; brun foncé à ségrégations ocre rouille foncé; argileux à grains de sables grossiers et ponctuations blanches, des figures tous les 30 cm jusqu'à 75 cm; structure motteuse cubique de I à 5 cm en assemblage prismatique; pas de faces patinées, mais sur les surfaces rugueuses quelques en-duits; cohésion excessive, porosité tubulaire peu développée assez fine; quelques radicelles.

- 45 - 75 cm 5 YR 3,5/4; brun rouge foncé (horizon rougi) à taches ocre et faces des agrégats plus brunes; argileux à grains de sable grossiers et micas; structure polyédrique à cubique en assemblage compact à faces rugueuses; cohésion excessive; très dur; nombreuses et petites concrétions brunes (plomb de chasse)
- 75 - 87 cm IOYR 5/4 (teinte moyenne); ocre brun; fond rouge plus vif à traînées gris-brun foncé (remplissage); argileux, pseudomycélium calcaire très fin; structure polyédrique en assemblage très compact; quelques gros canaux; porosité tubulaire fine très réduite; forte activité de l'édaphon.
- 87 - 100cm Banc de cailloux de quartz anguleux et de concrétions ferrugineuses arrondies, de 1 à 10mm, à cortex brun, dans un emballage argileux bariolé d'ocre et de gris traversé localement par du pseudomycélium calcaire.
- 100cm Cailloux de quartzite anguleux à auréole d'expurgation du fer.

C'est un sol composite, dérivant probablement par remaniement d'un vertisol dont il a conservé une structure cubique à traces d'enduits et le concrétionnement; la rubéfaction est déjà celle d'un sol de glacis, ainsi que le durcissement **superficiel**; le mycélium calcaire et les traces d'engorgement sont associés, non pas à ce type de sol en particulier, mais au niveau à cailloux de quartz à emballage argileux reposant sur une arène.

Les données analytiques concernant le complexe absorbant, la matière organique, sont proches de celles des vertisols alors que la répartition des sesquioxides est plus voisine de celle des sols de glacis.

Ce sont des sols rares dont l'intérêt est de montrer que la formation de sols bruns par réduction de drainage n'est pas limitée aux chaînes sur sols sableux.

B4-5 CONCLUSIONS

Les sols bruns formés par réduction du drainage peuvent être considérés comme des stades intermédiaires des sols bien drainés vers les sols hydromorphes. Cette transformation est d'autant plus nette que la mobilité des sesquioxydes dans la chaîne est plus faible. La nature chimique de cette transformation n'est pas mise en évidence par les analyses classiques; en particulier il est douteux qu'elle soit due à l'accumulation de matière organique. L'intérêt économique de ces sols croît avec l'aridité.

IB-5 CONCLUSIONS GENERALES

Le phénomène de réduction du drainage est, ou a été essentiel dans le processus de formation des sols bruns actuellement observés. La position morphologique des sols subarides bruns du cordon de TAL rend plus que vraisemblable un stade à nappe proche de la surface dans leur évolution passée. Le calcaire des sols bruns calcimorphes a le plus souvent été amené par l'évaporation d'une nappe, souvent encore active dans leur voisinage. L'existence des sols du cordon actuel du lac, la non rubéfaction des sols du Tal, montrent toutefois qu'il peut exister un stade juvénile des sols, sur sables, caractérisé par une accumulation diffuse de matière organique et l'absence de rubéfaction des sesquioxydes du matériau. La durée maximum de ce stade au NIGER ~~Oriental~~ est probablement datée par la fin de l'extension 4, du lac Tchad.

Les sols bruns sableux concentrent les cultures sèches à la faveur de l'amélioration de leur régime hydrique en tout lieu et de leur fertilité surtout en zone subaride.



IC - LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE

Dans ce qui suit nous considérons comme caractères morphologiques d'évolution des brun rouge l'intensité de la rubéfaction par rapport au matériau, l'épaisseur de l'horizon humifère, l'apparition de variations structurales. Comme ces dernières sont faibles, ce sont surtout les variations de couleur du profil qui entrent dans la description macroscopique.

Sur la couverture sableuse les profils sont d'autant plus évolués que l'on s'éloigne du centre de la cuvette tchadienne. Dans le Manga les horizons humifères sont peu distincts et la rubéfaction si peu prononcée, lorsqu'elle existe, qu'il n'est souvent pas possible de définir l'épaisseur des profils à 50 cm près, aussi les avons nous classés comme peu évolués. Dans les ergs orientés le contraste de couleur entre le sol et le matériau est plus tranché, l'épaisseur du profil mesurable, l'horizon humifère sinon plus épais du moins plus visible. Ces profils, évolués, lorsqu'ils n'offrent pas de différenciation structurale, sont ceux des ergs transversaux jouxtant la cuvette et de cordons longitudinaux traversant le Nord du Damagaram. Cependant nous n'avons pu les classer comme brun rouge typiques qu'au Nord-Ouest de Gouré; en effet, partout ailleurs, des reprises anciennes d'érosion éolienne ont rajeuni la partie supérieure des profils. A la limite Nord de la carte les sols des ergs orientés réticulés offrent le maximum de différenciation.

De nombreux sols s'écartent de cette ligne évolutive soit du fait d'une position topographique exceptionnelle ce qui est le cas des ensablements de versants, soit d'un matériau un peu particulier, comme dans les "sables rouges" du KADZELL.

Sur les matériaux plus ou moins argileux des versants les sols rubéfiés de la zone subaride forment une unité très distincte de la précédente.

IC-I LES SOLS PEU EVOLUES D'APPORT INTERGRADES VERS LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE

CI-I LES SOLS BRUN ROUGE PEU EVOLUES SUR LA FORMATION SABLEUSE FINE DU MANGA

III Morphologie :

Le profil NC I3 SAYAM a été décrit au Nord de SAYAM dans le TIOLDE, sous une savane très lâchement arborée à Acacia Raddiana, avec tapis herbacé annuel à Aristida mutabilis et Eragrostis sp; dominé par quelques touffes d'Andropogon sp.

- 0-6 cm IOYR 5,5/4 (plus rouge); brun ocré; texture finement sableuse; structure généralement massive, devenant nuciforme (3 cm) sous les touradons, ou à feuillets de moins de 3 cm d'épaisseur sur les flancs de ces derniers; cohésion moyenne; très faiblement agrégé; porosité fine moyennement développée; quelques pores tubulaires de moins de 2mm; assez nombreuses radicelles.
- 6-15cm 7,5 YR 5,5/4,5; brun rouge; même texture; structure massive à cohésion plus faible; légèrement plus compact; enracinement moins ramifié.
- 15-24cm 7,5 YR 5,5/6; brun rouge plus vif; même texture; structure massive à débit régulier à faces planes; cohésion moyenne à faible; porosité nettement plus fine; chevelu racinaire encore abondant.
- 24-40cm 7,5 YR 5,5/6,5 (plus rouge); horizon paraissant le plus rougi; même texture et structure; cohésion légèrement plus faible.
- 40-100cm 7,5 YR 5,5/6; jaune rouge; même texture; structure massive à débit non orienté; cohésion faible; porosité forte mais très fine; encore quelques racines.
- on n'observe ensuite qu'une décoloration progressive du profil, dont la structure de sable tassé non agrégé (particulaire) ne varie plus :
- à 140 cm 7,5 YR 6,5/8; jaune rouge clair  
à 220 cm 7,5 YR 7,5/5  
à 240 cm 7,5 YR 8/2; sables blancs.

Les sables blancs de la base ne constituent probablement pas le matériau car ils n'existent pas sur les flancs des collines granitiques ensablées du Nord de GUIDIMOUNI. Ce niveau décoloré qui apparaît de façon constante sous les sols du Manga doit être attribué à une action de nappe ancienne. La décoloration du sol à partir de 40 cm est très progressive et ne permet pas de définir un horizon suffisamment homogène pour être considéré comme un matériau. La profondeur du sol est donc de 2,2m. L'horizon humifère n'est défini que par sa couleur; on peut hésiter entre 6 et 15 cm; le maximum de rubéfaction est entre 24 et 40 cm; la différenciation structurale, consistant en un léger accroissement de la taille des pores et en la formation de quelques mottes sous les touffes de graminées, ne dépasse pas 6 cm. En résumé on observe une rubéfaction croissant très progressivement vers le sommet du profil surmonté d'un très petit horizon humifère.

Les profils du Manga diffèrent entre eux par la plus ou moins grande profondeur à laquelle apparaissent les sables décolorés (minimum observé 100cm et le contraste plus ou moins fort entre l'horizon rougi et le matériau formé de sables fins bien triés jaune rouge pâle; les rouges les plus vifs ont été notés 5 YR5,5/8 (Fig 43 Pl.I9); mais la plupart des horizons rougis sont notés vers 7,5 YR 5-6/6-7, ce qui équivaut à une rubéfaction de une à deux unités en chroma. Ces sols non agrégés ont été probablement toujours très sensibles aux reprises d'érosion éolienne dont les traces subsistent sous formes de buttes allongées superposées aux axes élevés du modelé, à la présence de profils très homogènes où il est impossible de définir d'autre horizon que l'horizon humifère, tel que le NB 49 GOUDOU MARIA décrit ci-dessous et observé en bordure de Faya.

	3 à 4 cm de sables déliés jaune brun en surface
0 - 5 cm	7,5 YR 5/4; jaune brun; finement sableux; structure massive à cohésion faible, presque particulière, à débit très régulier; quelques trous de 5mm (insectes); porosité fine; radicelles horizontales nombreuses.
5 -19 cm	7,5 YR 5/6; jaune brun vif; même texture, structure et cohésion.

- 19 - 50 cm 7,5 YR 5/6; jaune rouge (mal rendu par le code) structure pratiquement particulaire; quelques pores tubulaires; peut être considéré comme matériau du profil peu évolué ci-dessus.
- 200 cm 7,5 YR; mêmes sables jaune rouge peu tassés que ci-dessus.

Cette grande sensibilité à l'érosion éolienne se manifeste encore autour des villages, des pistes, des puits, en général sur les parties hautes du modelé, où apparaissent des sables vifs. En outre l'ensemble de ces sols subit superficiellement un remaniement éolien et hydrique déclenché par le passage des troupeaux en saison sèche. Ces sables libres auxquels s'ajoutent les sables des rejets d'animaux fouisseurs sont promptement recolonisés par les savanes herbeuses caractéristiques du Manga. Le début du profil NB76 KARGERI cité ci-dessous montre la reconstitution d'un horizon humifère par un empilement de croûtes pluviales séparant et immobilisant des sables déliés accumulés par le vent autour de touffes d'Andropogon;

- 0 cm 1 cm de sables déliés jaune ocre et nombreux rejets colorés d'insectes; au-dessous croûte lissée de moins de 1mm, compacte, sableuse, à porosité vésiculaire.
- 0-7 cm horizon décrit sous les touradons : 7,5 YR 5/4 brun ocre clair, parcouru de lignes brunes obliques et parallèles, de 1mm d'épaisseur, formées par des croûtes semblables à la croûte superficielle, ou de débris de croûte, séparant des lits de sables de rejets; texture fine; structure à tendance feuilletée, cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire fine bien développée; enracinement oblique abondant.
- 0-21cm horizon décrit entre les touradons : 5 YR 5/4; brun rougeâtre; même texture; structure massive; cohésion faible; plus compact; chevelu horizontal abondant.

## II2 Propriétés analytiques (Tableau I8)

° matière organique

Ce sont des sols très pauvres à matière organique bien évoluée.

La décroissance du taux est relativement plus rapide jusqu'à 50 cm; profondeur au-delà de laquelle il se stabilise à des valeurs infimes. La répartition

moyenne est la suivante :

à 5 cm	: 0,25%
à 50cm	: 0,10%
à 100cm	: 0,07%
à 200cm	: 0,05%

° texture

Le matériau est formé par les sables fins bien triés pauvres en colloïdes minéraux du Manga. Il n'existe pas de variations interprétables du taux d'argile et de limon dans le profil, où on peut le considérer comme constant; il est cependant deux fois plus élevé en moyenne que dans le matériau; cette dernière propriété n'est pas particulière au sol du Manga, car elle se rencontre pour de nombreux sols rubéfiés sur sables. Il en existe deux explications possibles : formation de colloïdes minéraux, surtout des hydroxydes, dans le profil ou apports par des poussières éoliennes. Cette pauvreté minérale doit être considérée comme le facteur limitant du développement de ces sols, en empêchant le développement de la structure, donc en accentuant les effets des périodes d'érosion éolienne. Elle doit être également à l'origine de la physionomie de sa couverture végétale, dépourvue d'espèces arborées.

° sesquioxydes.

Leurs variations sont parallèles à celles de l'argile et du limon mais plus faciles à mesurer. On note un appauvrissement superficiel, vraisemblablement dû au remaniement superficiel des profils, et un enrichissement par rapport au matériau. Le rapport du fer libre au fer total est maximum en profondeur, dans les horizons rougis.

° Le complexe absorbant

Ce sont des sols saturés à Ph neutre. Le coefficient de saturation et le Ph croissent légèrement vers la profondeur. La somme des bases échangeables est très faible, le sol étant plus riche que le matériau, ce qui est une conséquence de la répartition des colloïdes minéraux. L'équilibre des bases est celui de sols bien drainés, mais il varie fortement d'un profil à l'autre en dépit de l'homogénéité des autres propriétés analytiques. Il est fréquent d'avoir des sols fortement carencés en potassium.

° fertilité chimique

Elle est uniformément basse, le taux d'azote restant compris entre 0,1% et 0,25%; l'équilibre azote phosphore est satisfaisant ( $P_2O_5$  : 0,5 à 0,22%).

° propriétés physiques.

Parce que fins, ces sables sont relativement peu perméables. Ainsi s'explique la facilité avec laquelle s'installe l'érosion en ravines pour peu que le modelé s'y prête, et que l'on a observée surtout dans les alignements transversaux qui séparent le Manga du cordon de TAL, et dont les traces, sous forme de cones de déjection colorés fixés par la végétation, s'observent partout aux pieds des bourrelets sableux limitant les fayas.

II3 Relation entre les sols, le modelé, et la végétation au MANGA

Les zones où dominent les sols les moins évolués, du type NB 49 GOUDOUMARIA, s'observent surtout sur les grands plateaux sableux du centre du Manga, troués de fayas confluentes, parsemés de buttes étirées dans la direction du vent. Ils sont couverts d'une savane psammophile à Andropogonées dans le Sud, vers CHERI-KARGERI, à Aristida longiflora dans le Nord. Les sols les moins réjuvenés, du type NC I3 SAYAM, se localisent sur les modelés transversaux à dépressions parallèles, concentriques au cordon de Tal de MAINE SOROA au TIOLDE. On observe alors des savanes lâches arborées à Acacia Raddiana et les prairies d'annuelles n'y sont pas rares.

II4 Utilisation des sols

On ne cultive pas ces sols; les cultures du Manga se concentrent dans les dépressions. Cette exclusion est entièrement justifiée par la pauvreté minérale de ces sols et leur sensibilité à l'érosion éolienne provoquée. En outre, la pluviométrie y est partout inférieure à 450 mm. Dans le système agricole traditionnel, la vocation de ces sols est pastorale.

Ce sont les sols bien drainés de la partie du Manga comprise entre le MOUNIO et le TAL. Cette surface a été divisée en quatre associations définies par les sols des dépressions ; à alcalis dans la zone évaporatoire aux pieds du Mounio, à croûte sulfatée dans la zone de réalimentation de la nappe de Kargerî-Zoumba, hydromorphes de fayas dans le centre, à vertisols et diatomites autour du TAL. A l'Est de Maine Soroa les sols bruns du cordon de Tal et les sols du Manga se mêlent dans une unité où le matériau est plutôt celui du cordon et le type d'évolution le plus fréquent plutôt celui du Manga.

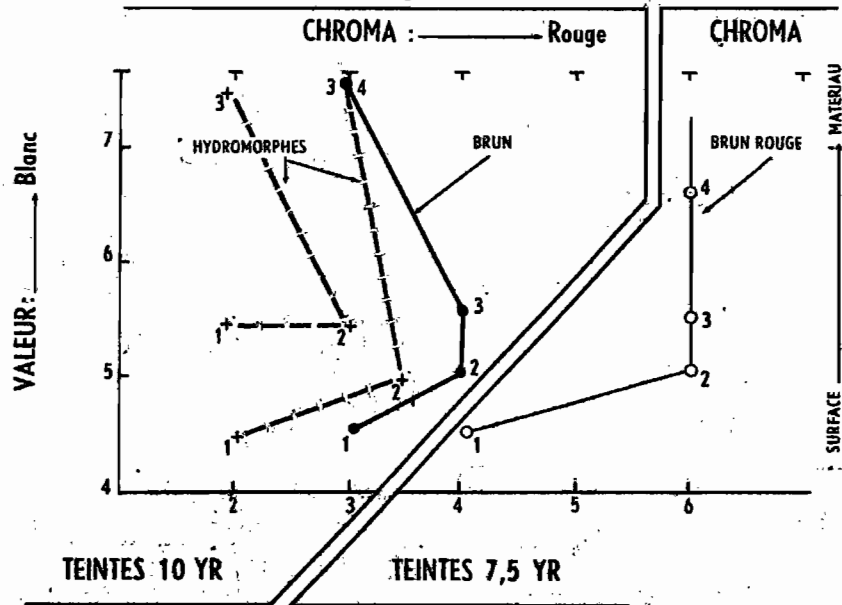
TABLEAU I8

DONNEES ANALYTIQUES PRINCIPALES DES BRUN ROUGE PEU EVOLUES DU MANGA

	Maximum	Minimum	Moyenne
Matière organique % en surface	0,50%	0,24	0,29
C/N en surface	13	6	9,6
argile + limon % dans le profil	3,9%	1,3	2,4
" " dans le matériau	2,6	0,3	1,4
Fer libre % - tout le profil	0,30	0,23	0,28
- dans le matériau	0,25	0,14	0,18
Fer libre/fer total % en surface	61	28	45
" dans le profil	70	47	60
" dans le matériau	43	34	40
Ph - en surface	7,3	6,3	6,9
" - à 50 cm	7,5	6,2	7,0
" - dans le matériau	7,6	7,3	7,4
Bases échangeables - tout le profil	3,15	2,0	2,6
méq/100 g - dans le matériau	2,3	1,3	1,7
Coefficient de saturation % - en surface	100	41	76
- dans le profil	100	42	82
- dans le matériau	100	70	94
Equilibres des bases			
Ca + Mg/Na + K	150	15	
Ca/Mg	4,7	1,1	
K/Na	1,0	0,4	

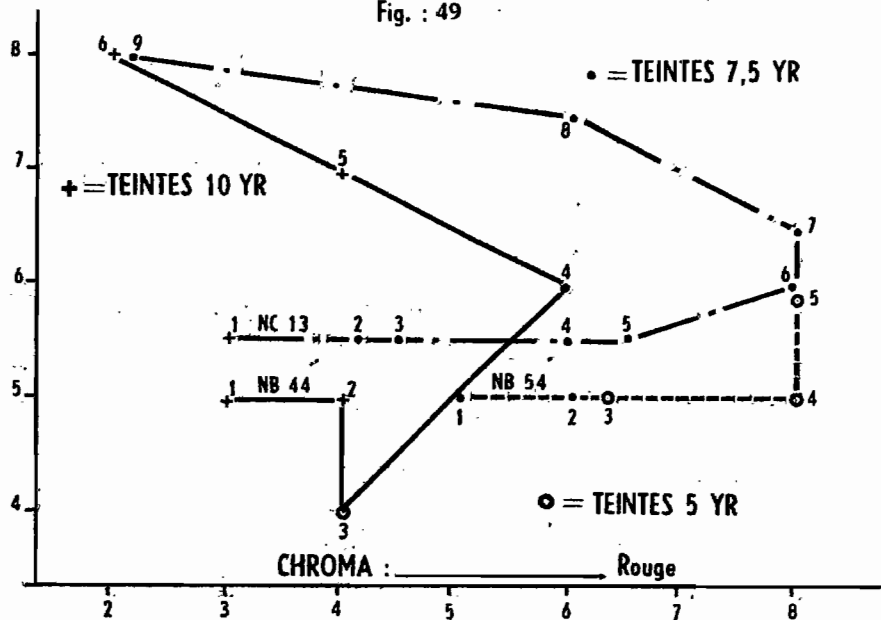
COULEURS DES SOLS D'UNE CHAÎNE DU MANGA (NB 073 GOUDOU MARIA)

Fig. : 48



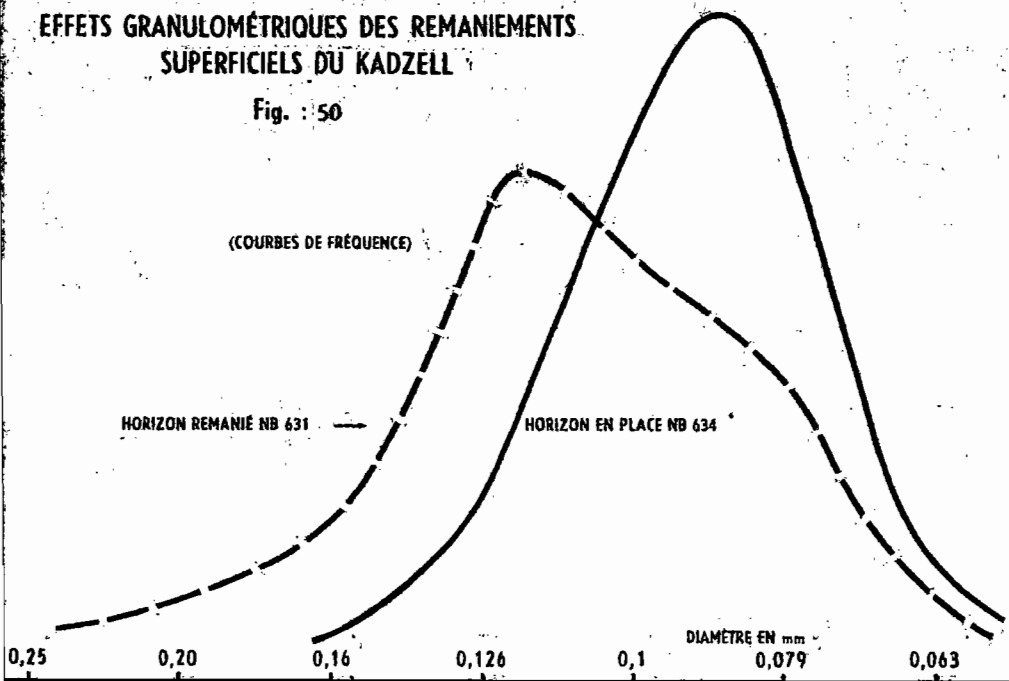
COULEURS DES SOLS BRUN ROUGE DU MANGA

Fig. : 49



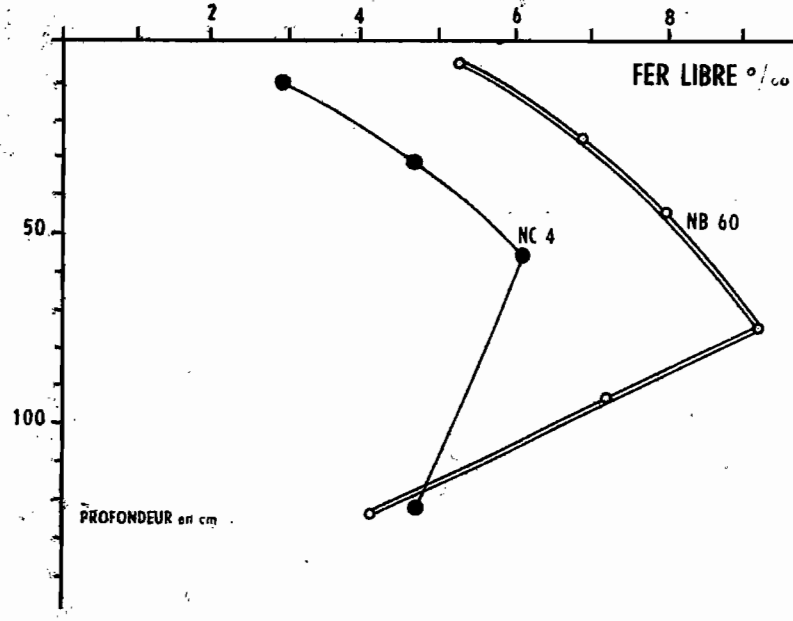
EFFETS GRANULOMÉTRIQUES DES REMANIEMENTS SUPERFICIELS DU KADZELL

Fig. : 50



RÉPARTITION DU FER LIBRE DANS LES SOLS RUBÉFIÉS DU KADZELL

Fig. : 51





CI-2 LES SOLS BRUN ROUGE PEU EVOLUES SUR SABLES DES ERGS ORIENTES TRANSVERSAUX

I21 - Morphologie :

Le profil NA I3 GIDIGIR est situé à la limite méridionale de l'erg de Guidimouni, sous une savane à Hyphaene, dont la présence est due à la proximité de la nappe qui affleure quelques Km au Sud :

- 0-20 cm Brun ocre foncé : (7,5 YR 5/4); sables moyens bien calibrés; structure motteuse nuciforme (inférieure à 1 cm), localisée sous les touffes, sur les cinq premiers cm, devenant massive à débit nuciforme en profondeur; cohésion faible; porosité d'assemblage et tubulaire très développée; enracinement très dense. Passage progressif à :
- 20-45 cm Brun ocre, assez rouge : (5 YR 5/5), avec de légères marbrures, plus rouges; sableux; présence de fissures fines sinueuses tous les 30 cm; structure massive à débit cubique régulier, exceptionnellement motteuse (2 à 3cm); cohésion légèrement plus forte; porosité d'assemblage très bonne; enracinement divergent moyen. Passage très progressif à :
- 45-80 cm Jaune rouge : (5 YR 5/6), avec fines mouchetures rouges et de gros remplissages (terriers et canaux de 3 à 10 cm) de sables blancs issus de la base du profil; sableux, légèrement fissuré, massif à débit cubique; cohésion faible; enracinement décroissant. Passage très progressif à :
- 80-125cm Jaune rouge très clair : (7,5 YR 6/5) ou C 56), avec de très nombreux petits remplissages de sables blancs, et quelques trainées brunes; sableux; structure massive à débit cubique; cohésion faible; horizon le plus dur; porosité légèrement plus faible. Passage progressif à :
- 125-180cm Blanc jaunâtre très clair : (10YR 7/4) passant progressivement à blanc en profondeur, avec de rares marbrures brun ocre et des remplissages blancs; sableux structure massive, particulière à partir de 175 cm (Humide); sans radicelles ni chevelu.

Cette description est très proche de celle d'un sol du Manga; la différenciation en horizons est peu marquée, bien qu'elle soit exagérée par les notations du Munsell. L'épaisseur et l'homogénéité de l'horizon supérieur, exceptionnelle pour un sol de ce type, ainsi que la faible profondeur du profil doivent être attribués à sa situation topographique, en bas de pente, qui a pour double conséquence de rapprocher de la surface le niveau à sables décolorés et le niveau phréatique actuel. Les sables blancs représentent le toit d'une nappe ancienne au-dessus duquel s'est produit la rubéfaction. Cette interprétation nous a été suggérée par le fait que les sables blancs ne tronquent pas la base des profils rubéfiés, mais sont séparés de l'horizon de rubéfaction maximum par une zone de transition, ce qui implique qu'ils sont contemporains ou antérieurs au profil sus-jacent. Le léger enrichissement en matière organique est celui que l'on observe lorsque l'on se rapproche des zones basses, par réduction de l'érosion superficielle et meilleure économie en eau, ici améliorée par une nappe peu profonde. Toutefois l'intensité de la rubéfaction se rapproche plus de celle des sols du Manga qui seraient moins colorés, dans une situation équivalente.

L'épaisseur observée de ces profils varie entre 130 et 150 cm; celle de l'horizon rougi de 20 à 60 cm.

#### I22 - Propriétés analytiques

Ce sont les mêmes que celles des sols évolués de la même famille, lorsque n'intervient pas l'épaisseur des horizons. La répartition de la matière organique du profil NA 13 GIDIGIR annonce celle des sols bruns à drainage réduit.

#### I23 - Utilisation

Ce sont des sols à vocation pastorale. Nous avons observé des cultures de mil pénicillaire au Sud-Est de Gouré qui avaient provoqué une destruction spectaculaire de l'horizon superficiel. L'attrait de ces sols réside surtout dans leur proximité des zones d'affleurements de la nappe.

I24 Extension - Cartographie :

Les profils décrits ci-dessus sont ceux de la "terrasse", large de moins de 5 Km, qui ferme les dépressions transversales vers la cuvette tchadienne.

Son relief aplani et les monotones prairies psammophiles qui la couvrent la font aisément reconnaître. Au Sud-Est de Gouré elle a été cartographiée avec les sols peu évolués du Manga. Entre le Mounio et le Damagaram elle a été réunie aux sols de l'erg transversal, qui ont été classés comme sols peu évolués à cause de l'extension locale des buttes à sols rajeunis, et sont alors cartographiées en association avec des sols à alcalis.

CI-3 LES SOLS BRUN ROUGE PEU EVOLUES SUR SABLES DES ERGS ORIENTES

Au Sud d'ABAF, sur un modelé à dunes rondes anciennes, dans une jachère à *Cténium élégans*, *Aristida mutabilis*, dominée de quelques *Euphorbia balsamifera*, *Boscia sénégaleensis*, *Guiéra*, nous avons décrit le profil suivant (NA 96 ABAGA);

- 0 - 5 cm    Sables jaunes déliés légèrement lités.
- 5 - 20cm    5 YR 5,5/4; brun ocre; emplissages rouges; matière organique mal répartie; sableux, sables éoliens avec sables grossiers (grès crétacés); structure massive, débit régulier à faces planes; cohésion faible; porosité tubulaire fine bonne; nombreux trous d'insectes; riche en radicelles.
- 20 - 30 cm    5 YR 5/6; ocre; des remplissages clairs, des taches grises coïncidant avec un assemblage intergranulaire plus lâche; sableux; débit encore plus isotrope; cohésion faible; porosité plus forte; porosité tubulaire plus grossière; porosité intergranulaire développée dans des lignes horizontales dues aux remaniements superficiels cultureux.

- 30-70 cm Brun rougeâtre avec zones rougies autour de pores et taches plus claires dans certains canaux; structure massive débit à faces planes; cohésion moyenne, grains faiblement cimentés (zone du maximum d'agrégation); porosité d'assemblage peu visible.
- 70-140cm 2,5 YR 5/8; rouge brun.
- 140-220cm 5 YR 6/8 (plus rouge); jaune rouge; matériau sableux.

La base du profil est formée des horizons profonds qui caractérisent les sols subarides brun rouge des ergs anciens réticulés (c'est-à-dire à dunes en boucliers ou à barkhans confluentes et aplanies), fortement rougis sur un matériau lui-même fortement coloré, et manifestant une légère amorce de différenciation structurale. Le sommet est très pauvre en matière organique, ce qui coïncide avec une teinte rougeâtre (brun ocre), différente de la teinte brun jaune habituelle des sols subarides évolués de la même famille.

Ce sont en fait des profils évolués rajeunis par érosion probablement anthropique déjà ancienne; cette érosion ne s'est pas accompagnée des phénomènes de surmodelage éolien observés dans le Manga aux dépens des sols peu évolués.

### 13-2 Propriétés analytiques.

Ils se distinguent des profils évolués par une répartition plus homogène de plus faibles quantités de matière organique. Sur les 50 premiers centimètres le stock organique total est réduit de 35% par rapport à un sol moyennement pourvu.

### 13-3 Utilisation

Ces sols portent encore quelques cultures de mil pénicillaire; la limite Nord des unités cartographiques où entrent ces sols est aussi la limite Nord des cultures.

## I3-4 Extension et Cartographie

Les sols des cordons longitudinaux qui traversent le Nord Damagaram appartiennent à cette petite famille, qui a été également cartographiée plus largement autour d'ABAGA en association avec des sols hydromorphes sur matériaux issus de grés argileux continentaux.

IC - 2 LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE EVOLUES TYPIQUES SUR SABLES DES ERGS ORIENTESC2-I LES SOLS BRUN ROUGE DES ERGS TRANSVERSAUX DE LA BORDURE TCHADIENNE2II - Morphologie

Le profil NB 4I GOURE a été ouvert à 11 Km au Sud-Ouest de Gouré, sur un replat sommital, sous une savane assez densément arborée à Acacia Sénégal, Raddiana, Balinites aegyptiaca, Commiphora africana, avec tapis graminéen à annuelles dominantes :

- |          |   |
|----------|---|
| 0 cm     | en surface 3 à 4 cm de sables déliés bruns; des rejets, croûte brune très fine.   |
| 0 - 5 cm | 7,5 YR 5/4; brun jaune; hétérogène : formé de lits alternativement plus foncés (bruns) et plus rougis (ocre) sables bien calibrés de taille moyenne (mode 0,27mm); structure feuilletée sur le premier mètre; devient ensuite massive à débit non orienté; porosité d'assemblage très fine peu développée : cet horizon est <u>nettement</u> compacté; nombreuses radicales horizontales.                     |
| 5 - 17cm | 5 YR 5/4; brun rougeâtre; paraît humifère; renferme des remplissages sableux venus soit de l'horizon précédent, soit des horizons profonds; texture sableuse; structure massive, débit à faces non orientées très faiblement mamelonnées; cohésion légèrement plus faible et porosité légèrement plus développée; les grains du squelette sont nettement mais faiblement agrégés; radicales moins nombreuses. |

17 - 37 cm 5 YR 5/6; brun rouge foncé, teinte de transition entre les couleurs foncées des horizons supérieurs et celles des horizons rougis; renferme des plages à sables plus rouges; texture sableuse; structure massive; débit à faces mamelonnées, les irrégularités de cohésion correspondant aux irrégularités de teinte mentionnées ci-dessus; porosité équivalente mais moins fine; cohésion plus faible; même enracinement.

37 - 75 cm Brun rouge teinte plus vive que 5 YR 5/6; cet horizon est le plus rouge à l'oeil; teinte plus homogène même texture; structure massive, à débit plus régulier et large; cohésion faible; les grains du squelette sont moins bien agrégés, porosité plus fine derechef;

Le profil se décolore très progressivement en même temps qu'il acquiert une structure particulière de sables tassés :

100 cm	7,5 YR à 5 YR 6/6	jaune rouge
220 cm	7,5 YR 6/6	jaune rouge très clair.

Nous interprétons et résumons ainsi les profils de cette famille :

- en surface quelques centimètres de sables déliés, de couleur uniformément brun jaune, très voisine de celle de l'horizon sous jacent; ces sables proviennent de la destruction, pendant la saison sèche, de l'horizon supérieur, soit par piétinement, soit par les dernières façons culturales, il s'y ajoute, les sables des rejets remontés par les insectes ou les rongeurs. Ces sables déliés sont propres aux sols sableux peu cimentés; leur couleur brun jaune est particulière aux brun rouge.

- au contact du premier horizon une croûte brune très fine probablement formée pendant la saison des pluies par des filaments d'algues et de champignons cimentant un lit sableux préalablement tassé par le choc des gouttes de pluie; nous avons donné déjà des exemples de ces croûtes dont le rôle est de réintégrer au profil les sables déliés; malgré leur finesse et leur fragilité apparente elles sont capables de former des surfaces de ruissellement. Ces croûtes pluviales à cimentation organique et tassement mécanique sont propres aux sols sableux. Les traces de feu de brousse, en général formées de traînées noirâtres, s'observent, lorsqu'elles existent, sous cette croûte.

- un horizon brun jaune IOYR 5,5/3 à 7,5 YR 5/4 riche en remplissage diversement colorés, et produits par les mécanismes de remaniement superficiels décrits ci-dessus auxquels on peut ajouter le tri par ruissellement des sables déliés dont l'effet, combiné à celui des croûtes, est de provoquer la formation d'une structure feuilletée au sommet de l'horizon; la structure est ensuite massive, la porosité fine et forte, de type intergranulaire; la relative compacité du sommet de NB 4I lui est en effet particulière. En dépit de sa teinte plutôt claire, cet horizon est toujours le plus riche en matière organique. Son épaisseur varie de 5 à 20 cm.

- un horizon brun rougeâtre ou brun ocre, 5 YR 4-5/4-6, donc assez foncé, de 10 à 15 cm d'épaisseur; il est encore suffisamment riche en matière organique pour être considéré comme "humifère", du moins par rapport aux horizons profonds. Mais il est déjà nettement rubéfié. Sa particularité la plus notable est de présenter le maximum de différenciation structurale du profil; les grains de sable sont légèrement cimentés; il en résulte une cohésion qui, à la différence de la cohésion due au tassement, varie rapidement sur de petites distances, d'où l'obtention d'un débit à faces mamelonnées.

- un horizon fortement rougi, assez uniformément 5 YR 5/6, dont la teinte s'éclaircit très progressivement vers la profondeur. Le maximum de rubéfaction appréciable à l'oeil se situe entre 40 et 80 cm. La structure disparaît vers la base de l'horizon, ou, plus exactement, reprend les caractères de celle d'un sable tassé.

- le matériau, sables jaune rouge très clair, est atteint vers 220 cm au moins. La base du profil est très malaisément définissable, à plusieurs décimètres près. La teinte est de 7,5 YR 6-7/6-8.

## 2I2 Propriétés analytiques (TABLEAU I9)

### ° matière organique

Les taux et le type de répartition de matière organique sont les mêmes que ceux des brun rouge peu évolués du Manga, comme le montre la répartition moyenne des taux dans les profils non érodés :

0 - 10	cm	: 0,25%
I	cm	: 0,3 %
10	cm	: 0,21%
25	cm	: 0,18%
50	cm	: 0,12%
100	cm	: 0,10%
200	cm	: 0,08%

Nous ne pouvons pas définir sur le seul examen des chiffres, l'épaisseur de l'Horizon humifère, car il n'y a pas de singularité dans la répartition des taux dont la décroissance se poursuit, au moins jusqu'à 60 cm, base du niveau le plus rougi; encore cette limite est elle plus imposée par la sensibilité des analyses que par nature. L'examen morphologique donnerait 25 cm pour la somme des horizons brun jaune et brun ocre; on constate que cette épaisseur correspond à la zone de variation la plus rapide des taux; ils diminuent de 40% contre 20% dans les 25 cm suivant.

Les rapports C/M sont très bas, avec une tendance indécise à diminuer vers la profondeur.

° texture

La fraction sableuse est formée de sables bien triés, à assymétrie positive (voir étude des matériaux sableux). Le taux d'argile et de limon est maximum dans le profil, minimum dans le matériau; l'horizon superficiel est toujours appauvri par rapport au reste du profil. Les taux sont très faibles, comparables à ceux du Manga.

°, sesquioxydes

Les variations sont les mêmes que celles des éléments fins; le rapport fer libre/fer total peu prendre des valeurs élevées dans les horizons rougis il est minimum en surface.

° Le complexe absorbant



Ce sont des sols saturés et à Ph neutre en surface; le coefficient de saturation et le Ph diminuent vers le matériau, sans toutefois que l'on puisse parler d'horizons désaturés et acides.

L'équilibre des bases est moins variable que dans le Manga mais est du même type; l'ordre de décroissance est le suivant : Ca, Mg, Na, K, on notera la pauvreté relative en potassium.

° Fertilité chimique

Il y a peu d'azote (0,12 à 0,15‰), et de phosphore (0,4 à 0,2‰).

° Propriétés physiques

La stabilité structurale et la perméabilité sont faibles.

Les principales différences analytiques entre les sols évolués et les sols brun rouge du Manga sont les suivantes :

- taux des fractions fines et des sesquioxydes maxima dans les horizons rougis, rapport Fer libre/Fer total plus élevé avec une rubéfaction plus poussée
- base du profil légèrement désaturée.

Les principales ressemblances sont dans l'identité physique et chimique du matériau et dans le type d'accumulation de la matière organique.

2I3 - Utilisation

Ces sols font encore partie de la zone d'élevage.

2I4 - Extension et Cartographie

La formation sableuse correspondant à ces sols ferme la cuvette tchadienne vers le Nord et le Nord-Ouest, du Damagaram à la Dillia. Nous avons classé le secteur compris entre le Mounio et le Damagaram dans les sols peu évolués; c'est alors une zone à modelé rajeuni, à affleurement de nappe et prairie psammophile. Entre le Mounio et la limite Nord de la carte les sols se sont mieux conservés sous une savane à Acacia Raddiana et tapis d'annuelles; nous ne les avons pas séparés sur la carte des sols sur ergs anciens réticulés. En effet l'intérêt pratique de cette distinction est restreint, de surcroit elle manque de netteté sur le terrain. Il existe en effet entre ces deux formes des unités à sols et modelé de transition, localisées autour du KOUTOUS. Tels sont les sols de l'erg de BILABITOUA dont l'aspect morphologique est celui des sols brun rouges définis à GOURE mais dont les taux d'hydroxydes sont déjà ceux des

Données Analytiques	ERGS TRANSVERSAUX			ERGS RETICULES		
	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne
<u>tière organique %</u>						
en surface (0-10cm)	0,26	0,21	0,23	0,34	0,13	0,20
à 50 cm			0,12	0,15	0,07	0,11
<u>/</u>						
en surface	12	8	9	11	4	8
à 50 cm	11	6	8	13	4	8
<u>gile + Limon %</u>						
en surface	4,0	2,7	-	6,5	2,7	5,0
dans le profil	4,5	3,2	-	9,8	4,8	8,0
dans le matériau	1,3	1,0	-	9,0	4,8	6,0
<u>r libre % en surface</u>						
en surface	0,30	0,25	-	0,39	0,30	0,34
dans le profil	0,39	0,32	-	0,56	0,35	0,46
dans le matériau	0,19	0,19	-	0,50	0,31	0,37
<u>r libre/Fer total (%)</u>						
en surface	59	51	-	69	45	60
dans le profil	85	61	-	70	52	64
dans le matériau	79	60	-	66	50	60
<u>en surface</u>						
en surface	7,0	6,8	-	7,4	6,9	7,0
vers 50 cm	6,9	6,6	-	7,2	6,3	6,7
dans le matériau	7,3	6,7	-	7,4	5,0	5,7
<u>omme des bases échangeables</u>						
en surface	1,64	1,35		3,5	0,9	1,81
dans le profil	2,2	0,35		2,7	1,4	1,90
dans le matériau	1,5	0,5		2,2	0,5	1,3
<u>efficient de saturation</u>						
en surface	100	75	-	100	70	86
dans le profil	100	93	-	100	85	92
dans le matériau	88	52	-	100	42	75
<u>uilibre des bases</u>						
dans tout le profil						
Ca + Mg/Na + K	18	7	-	8	3	7
Ca/Mg	3,5	3	-	3,7	1,6	2,7
K/Na	1,4	0,5	-	2,0	0,9	1,2
<u>rméabilité cm/h</u>						
en surface	0,5	0,4	-	1,4	0,8	-

C2-2 LES SOLS BRUN ROUGE DES ERGS RETICULES ET DES ENSABLEMENTS PEU EPAIS SEPTENTRIONAUX.

22I Morphologie :

Le profil NA 88 ELIKI a été observé au Nord-Ouest du Damergou, sur un modelé réticulé typique, sous un steppe arbustif à Commiphora et tapis d'Aristida.

- 0 - 10 cm 5 YR 5,5/4; sous une croûte gris jaunâtre de 1cm, sableuse, feuilletée, très poreuse :  
jaune brun, à fines traînées flexueuses, diffusées, ocre (concentrations de grains colorés); sableux; structure massive, débit à faces planes; cohésion moyenne; très fine porosité tubulaire, bien développée; porosité d'assemblage lâche dans des remplissages de canaux; trous d'insectes; nombreuses radicelles.
- 10 - 25 cm 5 YR 5/6; ocre brun, non homogène, du fait de l'activité de l'édaphon; taches plus rougies; sableux, avec quelques grains grossiers émoussés; structure massive, débit à faces planes; cohésion moyenne; assez bonne porosité;
- 25 - 180cm 2,5 YR 5/8; rouge brun, assez homogène, mais plus rougi par places, telles que le pourtour d'un canal empli de sables clairs; même structure et porosité; le moins mal agrégé. Maximum de la rubéfaction de 80 à 90 cm.
- 180 - 220cm 5 YR 6/8 (plus rouge); sables jaune rouge particuliers.

Nous complétons cette description par la suivante, concernant le sommet d'un profil voisin mais érodé à sa partie supérieure et où les variations structurales ont été mieux appréciées :

- en surface croûte feuilletée de sables brun-jaune; des nebkas
- 0 - 13 cm brun ocre clair; formé d'une succession de lits de sables brun-jaune, bruns, ocres; structure particulière; cohésion très faible; fine porosité.

- 13-52 cm 5 YR 5/8; brun rougeâtre; texture sableuse; structure légèrement feuilletée à la partie supérieure, massive à débit anguleux au-dessous; cohésion moyenne à faible; porosité plus grossière, bonne.
- 52-81 cm 2,5 YR 5,5/8 rouge brun vif; teinte non uniforme; texture sableuse; structure à tendance polyédrique en assemblage compact cohésion légèrement plus forte; porosité plus grossière et développée.

L'originalité de ces sols est dans le contraste entre l'épaisseur considérable (70 à 150 cm) d'horizons fortement rougis et le faible développement des horizons humifères (moins de 25 cm). Le matériau n'est pas réellement atteint à 220 cm. Des fosses profondes ouvertes en dehors du Niger Oriental dans la même famille ont montré que la décoloration du profil ne se stabilisait que vers 310 cm à 7,5 YR 7/6. La succession des horizons, schématisée, est la suivante :

- un horizon humifère brun jaune fortement atteint par les remaniements superficiels, épaisseur : 5 à 20 cm
- un horizon humifère brun ocre, à bonne porosité, d'environ 15 cm
- un horizon rougi dont la partie située immédiatement au-dessous des horizons humifères possède la structure la plus développée du profil; le maximum de rubéfaction visible a lieu entre 80 et 100 cm, elle décroît ensuite très progressivement vers la base, où réapparaît la structure de sables tassés.

Elle diffère de celle des brun rouge des ergs transversaux décrits précédemment par l'intensité de la rubéfaction (décalage de 5 Munsell en teinte par rapport au matériau contre 2,5), l'épaisseur totale du profil, supérieure de 1m, une structure plus développée mais restant toutefois massive. La succession des horizons supérieurs est la même. Pour lever cette contradiction morphologique on admet généralement que les horizons profonds résultent d'actions pédologiques déjà anciennes en climat de même type mais plus humide (au moins 600 mm) et que les horizons superficiels sont en équilibre avec la pluviométrie actuelle (200 à 400 mm). Ce n'est pas que les actions climatiques ne peuvent atteindre, au moins en année exceptionnelle, une épaisseur supérieure à 25 cm, et même à 2m, mais elles ne peuvent modifier l'équilibre existant de façon appréciable par nos mesures.

A côté de cette série très étendue au NIGER nous citerons les sols brun rouge sur plaçage sableux du Damergou et les sols brun rouge sur sables fins de la région d'IDRISSARI. Les premiers sont plus proches du schéma classique des brun rouge, car l'épaisseur des horizons humifères atteint 40 cm et la rubéfaction est modérée (NA 6 SABANKARI).

#### Humifère

- 0 à 10 cm Brun grisâtre (Plus clair que D 63); Superposition de lignes de sables clairs à des lignes organiques brunes; humifère sableux; structure nuciforme de 3cm. : cohésion moyenne à faible; se résolvant en particulier; bonne porosité; Très bien prospecté par les racines qui s'y ramifient. Passage progressif à :
- 10 à 44 cm Brun jaunâtre (7,5 YR 5/4 en plus rouge), avec amas sableux, les uns rougis, les autres plus clairs; humifère - Sableux, Structure massive à débit subanguleux aisé.  
Cohésion moyenne à faible; Porosité d'assemblage légèrement moins forte, porosité tubulaire plus développée; Enracinement moyen et de plus en plus réduit avec la profondeur. Passage progressif à :
- 69 à 112 cm Brun jaune rouge : (5 YR 5/8) avec remplissage de canaux les uns plus rouges, les autres gris brun; Sableux; Structure massive à débit cubique; Cohésion moyenne, supérieure à celle de l'horizon précédent; Bonne porosité avec des pores plus abondants; enracinement moyen et de plus en plus réduit avec la profondeur. Passage progressif à :
- 44 à 69 cm Brun jaune à Brun jaune-rouge; (5 YR 4,5/8, peu différent de E 56), avec des traînées plus rouges correspondant au remplissage de certains canaux racinaires; Sableux; Structure massive à débit cubique; Cohésion moyenne à faible; porosité analogue; un peu moins de racines. Passage progressif à :
- 69 à 112 cm Brun jaune rouge : (5 YR 5/8) avec remplissage de canaux les uns plus rouges, les autres gris brun; Sableux; structure massive à débit cubique; Cohésion moyenne, supérieure à celle de l'horizon précédent; Bonne porosité avec des pores plus abondants; Enracinement persistant, de plus en plus réduit. Passage progressif à :

II2 à I45 cm Jaune brun (7,5 YR 6/8), assez homogène; sableux; structure massive à débit cubique; Cohésion nettement plus faible; Encore de fines racines.

Les sols de la région d'Idrissari ne sont qu'une variété texturale, particulièrement fine, des sols des ergs réticulés. On y observe un développement plus important du niveau supérieur à structure feuilletée.

### 222 Propriétés analytiques (Tableau I9)

#### ° Matière organique (Tableau 20)

Le tableau ci-dessous résume les principaux types de répartition connus :

TABLEAU 20

Répartition de la matière organique de sols brun rouge évolués  
TAUX en %

Profondeur	Sols des ergs réticulés	Sols d'IDRISSARI		Sols du DAMERGOU
		Sols Vierges	Sols Cultivés	
I cm	0,13	0,35	0,19	0,48
5 cm	-	0,32	0,17	0,34
10 cm	-	0,20	0,16	0,30
25 cm	0,11	0,13	0,13	0,22
50 cm	0,10	0,09	0,09	0,16
100 cm		-	-	0,10
200 cm	0,08	-	-	-

On observera tout d'abord que la décroissance est d'autant plus rapide que le stock initial est plus fort; la répartition la plus homogène est celle des sols les plus pauvres. La pauvreté exceptionnelle des sols des ergs réticulés est probablement due à des cultures anciennes, dont nous avons retrouvé les traces autour des lieux de prélèvement. La répartition dans le sol vierge d'Idrissari est celle que nous prendrons comme référence; les chiffres du Damer-gou sont les maxima observés sur brun rouge. bien qu'ils ne dépassent pas 0.1%

En procédant comme au paragraphe C22-2 on évalue à 55% la décroissance du stock organique dans l'horizon humifère au Damergou (44 cm) à 65% sur 30 cm pour les sols vierges d'Idrissari, 15% sur 25 cm pour tous les autres.

Les C/N sont remarquablement bas (8)

° Texture

La fraction sableuse est moyenne (mode 0,27mm) la granulométrie en est étirée vers les sables fins. Le mode des sables d'Idrissari n'est que de 0,18 mm, et leur distribution symétrique. La fraction argile et limon est mieux représentée que dans les sables des ergs transversaux, on observe toujours l'enrichissement du profil par rapport au matériau et l'appauvrissement des horizons superficiels.

° Sesquioxydes

La variation des taux dans les profils est suffisamment régulière et répétée pour admettre une légère accumulation maximum vers 60 cm, profondeur qui est celle du maximum structural. Le rapport fer libre sur fer total oscille autour de 60% dans le profil sans qu'on ait pu déceler de variations ordonnées. Le minimum superficiel est toutefois probable, quoique faible. La couleur très rouge des profils sur modelé réticulé ne s'accompagne pas de valeurs particulières de ce rapport.

° Le Complexe Absorbant

Le Ph et le coefficient de saturation croissent nettement vers la surface, neutre et saturée. Ce fait est particulièrement net et constant. L'équilibre des bases diffère de celui qui existe dans les sols bien drainés de la cuvette par des taux de magnésium plus élevés; l'ordre moyen de décroissance est le suivant : Ca, Mg, K, Na.

° Fertilité chimique

Le taux d'azote est de l'ordre de 0,25‰ dans les sols vierges; il tombe à 0,10‰ dans les sols cultivés. Les taux de phosphore sont très variables, de l'ordre de 0,4‰ dans les sables réticulés, 0,2‰ dans la région d'Idrissari.

° Propriétés Physiques.

La stabilité structurale est nettement améliorée et se classe en général comme moyenne, surtout à cause de la moindre finesse des sables. La perméabilité varie de 0,8 à 1,4 cm/h.

° Conclusions

C'est dans la répartition des hydroxydes et la variation du Ph dans les profils qui annoncent celles des sols ferrugineux faiblement lessivés, que ces sols diffèrent le plus des brun rouge des ergs transversaux. Le type d'accumulation de matière organique leur est commun. Les taux plus élevés des fractions fines sont imputables au matériau et à une pédogenèse plus longue.

223 Utilisation

La remontée vers le Nord des cultures sèches, le grignotage des pâturages sahéliens dont nous avons déjà parlé, s'effectuent sur ces sols. Leur fertilité "naturelle" est supérieure à celle des sols sur ergs transversaux. On a constaté que leurs mise en culture s'accompagnait encore de phénomènes de destruction des horizons superficiels, moins importants que dans la cuvette tchadienne. Il conviendrait cependant de les réserver à l'élevage, car ils portent d'excellents pâturages.

224 Extension - Paysages végétaux

Les ergs réticulés à brun rouge sont situés à l'Ouest de Tanout et dans la région Abaga-Yachi-Tajae. Ils portent une formation arbustive steppique à commiphora et Sclerocarya, avec tapis d'annuelles, fortement contractée dans les zones basses, où apparaissent des Cymbopogons. La formation caractéristique des sols d'Idrissari est un peuplement diffus à Commiphora très largement dominant; le tapis herbacé est plus xérophile, à base de Schoenefeldia.



225 Cartographie :

Nous n'avons fait qu'une unité cartographique des sols décrits ci-dessus, à l'exception des sols du Damergou associés soit à des sols brun rouge de glaciais, soit à des lithosols sur cuirasse ferrugineuse conglomératique.

C2-3 : CONCLUSIONS SUR LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE DU MANGA ET DES ERGS ORIENTES

L'étude morphologique et analytique amène à classer les sols brun rouge dans l'ordre d'évolution croissant suivant : sols peu évolués du Manga, sols évolués des ergs transversaux, sols évolués des ergs réticulés. Leur répartition géographique montre que leur stade d'évolution n'est pas en rapport direct avec la pluviométrie actuelle : elle varie de 500 mm à moins de 300 mm pour les sols du Manga, de 400 mm à moins de 300 mm pour les sols des ergs transversaux, de 350 mm à moins de 250 mm pour les sols les plus développés; elle est même fortuitement, inverse de celle que commanderait cette dernière. Elle est évidemment déterminée par l'âge des formations sableuses sur lesquels ils se développent, et qui décroît vers la cuvette tchadienne. Ces profils présentent des propriétés communes qu'il est logique d'attribuer aux actions climatiques qui se succèdent depuis la mise en place des sols les plus jeunes jusqu'à notre temps. Ces propriétés sont les suivantes :

- accumulation de faibles quantités de matière organique à bas C/N; la décroissance des taux vers la base des profils est appréciable jusqu'à 60 cm environ mais est plus rapide sur les 25 premiers centimètres.

- rubéfaction croissant vers le sommet du profil.
- absence d'horizon supérieur franchement décoloré.
- profil enrichi en hydroxydes et fractions minérales fines par rapport au matériau; inversement horizon supérieur appauvri par rapport au profil.
- rapport fer libre/Fer total maximum dans les horizons rougis.
- horizon supérieur neutre et saturé.

Les propriétés présentant une variation continue doivent être attribuées à des actions plus anciennes; ce sont :

- une rubéfaction croissant en intensité; les matériaux étant dans les teintes 7,5 YR les horizons rougis du Manga sont 7,5 YR, ceux des ergs transversaux 5 YR, des ergs réticulés 2,5 YR.

- une augmentation d'épaisseur du profil qui passe de 1 à 2m environ dans le Manga à 320 cm dans les ergs réticulés; en même temps la profondeur de l'horizon le plus rougi passe de 25-40 cm à 70-100 cm.

- une légère augmentation du rapport fer libre/fer total en surface, de 45 à 60%

- la désaturation des horizons profonds des sols les plus évolués, accompagnée d'une baisse du pH

Nous ne pouvons séparer ce qui revient au matériau et à l'âge dans l'augmentation de stabilité structurale vers les sols évolués. Cette augmentation n'est mesurable que pour les sols des ergs réticulés. Nous lui attribuons la meilleure conservation des horizons supérieurs; en dehors du Manga et la moindre extension des sols rajeunis, sur les surfaces à sols évolués.

Comme les variations granulométriques des fractions sableuses sont faibles, elles n'interviennent pas dans les propriétés des sols. Seuls importants les taux d'argile et de limon, d'hydroxydes, qui ne se relèvent que dans les ergs réticulés.

La fertilité et le degré d'utilisation agricole croissent avec le stade d'évolution des sols. L'érosion anthropique accentue ces différences car ce sont les sols les plus jeunes qui y sont les plus sensibles. Seuls les sols sur ergs réticulés peuvent être considérés comme des terres normales de culture, mais la pluviométrie y est trop faible pour y maintenir des établissements permanents. L'utilisation des terres du Manga méridionale est subordonnée à l'utilisation de techniques agricoles avancées accroissant le stock organique. La vocation actuelle des sols brun rouge est pastorale.

C-3 LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE EVOLUES COMPLEXES

Cette unité provisoire rassemble les sols brun rouge auxquels le passé pédologique, le mode de mise en place du matériau, la nature de ce dernier, la situation topographique confèrent des aspects particuliers dont le plus commun, qui n'est pas essentiel pour toutes les unités de brun rouge complexes est le remaniement des horizons supérieurs.

C3-I LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE SUR ENSABLEMENTS LOCALISES DE MASSIFS

3II - Morphologie :

Le profil NB 4 est situé à mi-pente de l'ensablement qui ceinture les falaises de grés du massif du KOUTOUS près de GANACHA; la végétation est formée d'un vieux peuplement d'Acacia Raddiana et d'un tapis herbacé dégradé à Cenchrus biflorus.

- 0-6 cm 7,5 YR 6/5 (toutes les teintes Munsell très approximatives) brun jaune; sables déliés à trainées organiques; sables éoliens à grains colorés; structure particulière; localement en feuillets.
- 6-30cm Brun jaune plus homogène; à la base des remplissages brun - rouge pâle plus ou moins argileux; structure massive, débit à faces planes; cohésion faible assemblage des grains presque particulière; porosité moyenne, très fine; chevelu très fin assez dense; quelques radicelles; trous d'insectes.
- 30-52cm Brun rouge pâle; même texture et structure cohésion moyenne à faible; porosité plus forte, intersticielle fine.
- 52-85cm 5 YR 5/6; (plus rouge); rouge brun à remplissages plus clairs et lignes de moins de 2mm; sableux, très légèrement argileux; structure massive; débit à faces mamelonnées; cohésion moyenne à forte; très dur; porosité tubulaire ( $\varnothing$  0,5mm) peu développée; porosité intergranulaire forte et supérieure à celle de l'horizon précédent; chevelu réduit; des radicelles verticales.

- 85 - I45 cm 2,5 YR 5,5/8; (plus jaune); rouge jaune à raies subhorizontales s'anastomosant, à épaisseur croissant de 0,5 à 1 cm vers la base, à écartement inférieur à 10 cm et de 5 cm en moyenne; leur couleur, rouge brun, est plus foncée que le fond, leur cohésion plus forte; sableux structure massive à débit anguleux; cohésion moyenne à forte; porosité réduite de même type.
- I45 - I60 cm 5 YR 5,5/8; rouge jaune; quelques raies; sableux; structure massive à cohésion faible; porosité strictement intergranulaire, proche du matériau originel.

Le profil n'est pas homogène, les trois premiers horizons ont été rapportés ou ont été profondément remaniés; ils forment à eux seuls un sol brun rouge peu évolué; les horizons profonds représentent la base d'un sol fortement rougi où la mobilité des hydroxydes a été suffisante pour entraîner la formation de raies.

La différenciation pédologique des ensablements de versants la plus manifeste est une rubéfaction poussée qui fait passer de 7,5 YR 6,5/6 (jaune rouge) à 2,5 YR 5/8 la couleur des sables du matériau. Ce dernier n'a pas été atteint dans le profil ci-dessus mais a été observé à plus de 2 m à la base de sols comparables du Damagaram. Dans les profils les moins érodés les rouges les plus vifs sont observés à 60 cm de profondeur. La formation de raies est favorisée par la situation topographique, qui provoque le lessivage oblique; elle n'est pas constante. Le sommet des horizons rougis est légèrement durci et mieux structuré que le reste du profil. L'observation des horizons supérieurs est gênée par leur ablation ou remaniement par érosion hydrique. Cette dernière est due d'une part à la situation topographique de ces sols au bas de surfaces de ruissellement sur roches ou éboulis à pentes fortes d'autre part à l'imperméabilisation des horizons rougis mis à nu par encroûtement et durcissement. Les profils sont tranchés par des ravines ou décapés. Les mieux conservés montrent les mêmes horizons humifères que les sols brun rouge évolués. Les plus érodés offrent un niveau supérieur rouge foncé dont voici un exemple décrit à côté du campement de GOURE (NC 18) :

0 - 30 cm : 2,5 YR 4,5/6; rouge brun; des lignes horizontales plus foncées épaisses de 1 cm, équidistantes de 15 cm; texture sableuse à sablo-argileuse; structure massive à débit polyédrique de 1 à 2 cm; cohésion moyenne à forte, légèrement agrégé porosité d'origine biologique peu développée.

30 - 90 cm : 2,5 YR 5/8 etc...

Le type d'évolution de ces profils est à rapprocher de celui des sols brun rouge évolués des ergs réticulés dont il n'est qu'une accentuation se manifestant surtout dans la structure et la formation plus fréquentes de raies.

Nous avons observé dans le MOUNIO un deuxième type de sol sur en-sablements de versant, décrit dans le Profil NA 15 GOURE.

0 - 22 cm Brun : (10YR 5/3,5); sableux à sables moyens éoliens calibrés, mêlés à quelques gros quartz bipyramidés de la roche et quelques feldspaths; structure massive à débit cubique (faces planes non orientées et arêtes arrondies); cohésion faible; porosité d'assemblage assez développée et quelques gros pores; chevelu racinaire abondant. Passage progressif à :

22 - 46 cm Ocre, (5 YR 5/6); avec des remplissages mieux agrégés bruns et des taches diffuses plus rouges; même texture structure massive à débit anguleux avec des faces irrégulières cohésion faible à moyenne; très poreux à pores plus fins; enracinement analogue. Passage très progressif à :

46 - 65 cm Jaune ocré : (7,5 YR 5/6) sableux; structure massive analogue; cohésion faible; même porosité; présence de quelques petites concrétions noires, les unes mamelonnées (amorces de tubes), les autres tubulaires avec lumière centrale à ciment foncé, plus rarement violacé, enrobant des sables et passant à ocre au centre des concrétions ou autour des lumières; bon enracinement décroissant lentement. Passage très progressif à :

- 65 - 75 cm Jaune : (7,5 YR 6/6); même texture; structure massive se résolvant en particulaire; cohésion plus faible; bonne porosité; horizon riche en concrétions de deux types : à la partie supérieure, tubes plus ou moins fermés (Diamètre de 0,5 à 1 cm. Longueur : 3 à 4 cm) peu nombreux et isolés; à ciment noir et cortex interne et externe brun. Ces tubes, présentant des amorces de ramification, ont la forme de racines; ils sont durs et enchassent à leur surface des sables non vêtus; à la base de l'horizon, le concrétionnement se présente sous la forme d'amas de concrétions tubulaires ou laminaires, l'orientation des amas est soit verticale, soit horizontale, et leur dimension moyenne est de l'ordre de 5 à 10 cm. Les ciments sont brun foncé et le cortex brun est hérissé de sables.
- 75 - 90 cm Jaune clair : (10 YR 6/6/6); même texture; structure massive se résolvant en particulaire, plus tassé; présence de quelques petites concrétions analogues à celles du troisième horizon, de taille inférieure à 0,5 cm - Pas de transition avec :
- 90 - 110cm Cuirasse ferrugineuse à aspect d'ensemble feuilleté; débute par un banc concrétionné de 10 cm d'épaisseur, constitué d'éléments inférieurs à 1 cm; mamelonnés, légèrement aplatis, parfois tubulaires; le ciment est brun ocre, à enduits noir métallique, et englobe des quartz surtout bipyramidaux et quelques éléments blancs; le cortex est brun foncé; il existe une patine brun jaunâtre discontinue; la surface est très rugueuse avec de nombreux quartz saillants bipyramidaux; durs.

La cuirasse proprement dite, massive, faiblement festonnée et d'épaisseur variant de 20 à 100 cm, est cavernueuse avec orientation lamellaire des vides; mise en affleurement, elle présente un faciès spongieux; ciment brun foncé englobant des quartz surtout bipyramidaux; très mince cortex brun noirâtre nombreux quartz saillants; dans les cavités remplies de sables éoliens, présence d'auréoles ocres; dans certaines cavités internes, imprégnations rouge vif.

Cette cuirasse est plaquée sur une roche granitique altérée très claire et encore cohérente, riche en nombreux feldspaths, quartz bipyramidaux et minéraux verts.

Le profil ressemblerait plutôt aux sols des ergs transversaux par son degré de rubéfaction. Le concrétionnement ferrugineux tubulaire de la base du profil est dû à des apports d'hydroxydes par une nappe, actuellement disparue, circulant au-dessus d'une cuirasse ferrugineuse fossile. Il est comparable à celui que l'on observe actuellement à la base des profils ferrugineux en bas de chaîne de la région de Magaria-Matameye. Ce concrétionnement est fossile. Dans la zone des brun rouge, il n'est pas spécifique des ensablements de versants mais d'une disposition particulière des séries sableuses anciennes par rapport au substrat, généralement concrétionné ou cuirassé, qui permettait la circulation d'une nappe dans le profil.

Au Nord-Est de Guidimouni nous avons observé le curieux profil suivant, aux flancs d'une butte rhyolitique (NC I6 Guidimouni) sur un ensablement recouvert d'un éboulis :

- 0 - 35 cm IOYR 4/3,5, brun homogène; formé de blocs de roches anguleux de moins de 15 cm de diamètre (éboulis) à emballage de sables fins éoliens; structure nuciforme (1,5 cm) à cohésion moyenne; porosité d'assemblage lâche et très développée; chevelu racinaire très dense et ramifié.
- 35 - 45 cm IOYR 5/7; brun plus clair; formé de blocs plus gros (20 cm) mais moins abondants, mêlés à des écailles de desquamation de 1 à 2 cm; emballage sableux plus abondant, à structure massive à débit arrondi, la cohésion étant très faible; très forte porosité intergranulaire; chevelu, moins abondant.
- 45 - 65 cm 7,5 YR 6/8; jaune brun pâle, un peu rougi, horizon sableux ne comportant plus que quelques débris de roche; structure massive à débit non orienté et faces planes; porosité de même type bonne.
- 65 - 90 cm 7,5 YR 6/8; jaune brun pâle; sables fins tassés à débit régulier et cohésion faible.

Ce profil est dans la même ligne évolutive que les sols brun rouge peu évolués du Manga. La formation d'un horizon brun au contact direct des débris de roche est un fait d'observation général. Les analyses montrent un enrichissement important en éléments fins, hydroxydes, bases, par rapport au sables fins du matériau.

### 3I2 Propriétés analytiques (sols situés hors du Manga seulement)

#### ° Matière organique

Les taux en surface varient de 0,2 à 0,3%; ils sont inférieurs à 0,2% dans les sols érodés. La décroissance est de même allure que celle des brun rouge. Les C/N sont compris entre 8 et 11 en surface.

#### ° Texture

La granulométrie des sables est fort variable, en général proche du type erg orienté. Ce manque d'homogénéité est dû à la présence même des massifs rocheux qui libèrent des sables hétérogènes que le vent ne peut reclasser sur des courtes distances et modifient la circulation aérienne au niveau du sol. On peut avoir des sables fins et bien triés (0,19mm), ou plus grossiers et plurimodaux (0,35m). L'érosion actuelle a tendance à concentrer les éléments grossiers en surface. Les taux d'argile et de limon sont élevés, de 9 à 11% dans le profil, 5 à 6% dans le matériau, 2 à 6% en surface.

#### ° Sesquioxydes

La régularité et la constance de la répartition des taux d'hydroxydes dans les profils autorise à interpréter comme horizon d'accumulation le niveau enrichi en fer libre par rapport au matériau et à la surface, les chiffres respectifs étant compris, dans l'ordre, entre 0,7 et 0,75% et 0,5%, 0,1 et 0,3%. Le rapport Fer libre/Fer total est compris entre 57 et 63 en surface, 62 et 72 en profondeur.



° Le Complexe absorbant

Les variations du coefficient de saturation et du Ph ne sont pas constantes d'un profil à l'autre. Nous n'avons observé qu'une fois la décroissance de ces valeurs vers les horizons rougis; plus habituellement le profil est entièrement saturé, le Ph montrant des variations irrégulières autour de la neutralité. En surface il varie de 6,7 à 7,5. La somme des bases est de 1,7 à 14,5 en profondeur. 0,7 à 2,7 en surface.

- Propriétés physiques

Ce sont les mêmes que celles des sols sur ergs réticulés

° Fertilité chimique

Ils sont relativement mieux pourvus en phosphore (0,4 à 0,5%) qu'en azote (0,10 à 0,15%).

° Conclusions

Leurs propriétés analytiques sont voisines de celles des sols évolués sur ergs réticulés, dont ils ont en particulier le type de variation des taux d'hydroxydes. Ils sont cependant notablement plus riches en hydroxydes, éléments fins, bases.

3I3 Utilisation

Ce sont surtout des sites de villages; ils sont peu cultivés parce que fortement érodés et excessivement drainés.

3I4 Cartographie et Extension

Les ensablements portent le plus souvent les sols rubéfiés du type NB4 GANACHA; le sol décrit dans le MOUNIO est exceptionnel. On les voit partout accrochés aux plus petites buttes témoins. On les a cartographiés en association dans le Koutous et le Mounio.

315 CONCLUSIONS

Les sols brun rouge sur ensablement de massifs ont le type d'évolution des sols brun rouge sur ergs réticulés dont ils se distinguent par un matériau plus riche et des actions de lessivage oblique et d'érosion plus accentuées.

La présence des sols moins évolués des ensablements des buttes du Manga montre que la pédogenèse de ces sols est plus étroitement liée aux actions pédoclimatiques subies qu'à la situation topographique actuelle.

C3-2 LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE COMPLEXES DU KADZELL321 - Morphologie

Dans le Kadzell, au Nord de la Komadougou, s'étend, de Boudoum à Geskerou, une vaste étendue sableuse plane, parsemée de quelques buttes ou rides éoliennes. Des cultures y alternent avec des jachères à *Boscia sénégalis* dominant un tapis herbacé ras d'annuelles. La couleur superficielle des sols est rougeâtre. Le profil le plus caractéristique est le suivant, décrit près de Boudoum (NB 60 BOUDOUM) :

- 0 cm fine croûte noire de 1 mm d'épaisseur reposant sur 1 cm de sables déliés.
- 0 - 2 cm ensemble lité de croûtes et de sables déliés.
- 2 - 13 cm 7,5 YR 5,5/6; brun jaune, homogène, très finement sableux; structure massive; débit régulier à faces planes; cohésion moyenne; ne semble pas agrégé; porosité très fine moyennement développée; quelques canaux d'insectes de 1 à 3 mm de diamètre; quelques radicelles verticales.
- 13 - 35 cm 7,5 YR 5/6; rouge jaune; même texture; structure massive à débit moins régulier à faces légèrement mamelonnées; quelques mottes prismatiques autour de fissures fines espacées de 20-40 cm et pénétrant jusqu'à 40 cm; cohésion moyenne; porosité plus développée et plus grossière; zone de ramification du chevelu racinaire.

- 35-58 cm 5 YR 5/8; rouge, teinte non homogène répartie par plages diffuses; des remplissages blancs venus des horizons inférieurs; même texture; structure massive, mais débit à faces fortement mamelonnées; grains du squelette agrégés; porosité tubulaire fine (moins de Imm) bien développée mais laissant subsister des plages compactes, enracinement réduit, vertical.
- 58-90 cm teinte voisine, apparition de ségrégations rougeâtres autour des remplissages de trous d'animaux; même texture; structure à tendance polyédrique de 1 cm; plus compact; quelques radicales.
- 90-150cm 7,5 YR 7/6; jaune rouge; se décolore progressivement vers la base.
- 150-200cm blanc jaunâtre à ségrégations ocre jaune (7,5 YR 6/6).

Les deux horizons supérieurs, humifères, sont cependant vivement colorés, la rubéfaction du profil est poussée et s'accompagne d'une différenciation structurale appréciable. La base, décolorée et tachée, manifeste un engorgement temporaire par nappe. La répartition irrégulière de la pigmentation dans le profil traduit une mobilité certaine des hydroxydes. Enfin le sol porte des traces non équivoques d'érosion anthropique. Tous les profils rubéfiés du Kadzell dérivent de ce type simple par des variations dans la répartition des hydroxydes et dans l'action de la nappe et de l'érosion.

Les hydroxydes peuvent s'accumuler en raies dans l'horizon rougi; nous en donnons un exemple dans l'extrait suivant pris dans la description d'un profil (NC 4 DIFA) ouvert près de Difa :

- 40-72 cm 7,5 YR 5/6; brun rouge; des lignes horizontales sub parallèles épaisses de 2mm, espacées de 15 à 20 cm; texture finement sableuse; structure massive, débit régulier; porosité de type tubulaire moyennement développée.

72-I05 cm 7,5 YR 5,5/7; rouge plus clair; raies plus épaisses, atteignant 1 cm d'épaisseur à la base de l'horizon même texture et structure.

I05-I40 cm 7,5 YR 5,5/6; formé de bandes alternativement brun rouge (5 YR 4/6) et brun très clair; de 5 à 20 cm d'épaisseur; structure massive; débit régulier; nettement plus compact.

La plupart des profils ont subi une phase d'érosion, probablement en nappe, qui a été limitée en profondeur par les horizons rougis (que l'on peut considérer comme d'anciens niveaux d'accumulation des sesquioxides et des fractions fines). Ces derniers ont réagi par durcissement et encroûtement superficiel. Les horizons supérieurs ont été transportés en masse et forment souvent un niveau rapporté sur des sols préalablement décapés. On observe très souvent ainsi deux profils à texture et couleur très voisines, séparés par une croûte durcis souvent parsemée de débris de poteries grossières. Le sol supérieur est plus clair, mais sa couleur ne diffère pas fondamentalement de celle des horizons supérieurs d'un profil non tronqué. En fait, en l'absence de croûte enfouie, il n'est pas possible de savoir si l'on a réellement affaire à un profil intact ou non, car les analyses ne décèlent pas cette discontinuité lorsque cette dernière a été constatée sur le terrain. Tout se passe comme si, après érosion, le profil avait été parfaitement reconstitué. Cette phase d'érosion n'est pas particulière aux sols rubéfiés du Kadzell, mais à tous les sols de cette région sur sables fins.

La nappe phréatique est actuellement très profonde dans le Kadzell (plusieurs dizaines de mètres). Cependant les profils montrent toujours en profondeur des signes non équivoques d'une action de nappe carbonatée : ségrégations, décolorations, mycélium ou amas friables calcaires. On pourrait admettre que les carbonates proviennent d'une accumulation par lessivage en profondeur; Celà nous paraît douteux, d'une part parce que les dépôts du Kadzell n'ont rien d'alluvions carbonatés (basse capacité d'échange des argiles), d'autre part parce que cette accumulation calcaire n'est pas liée à un type pédologique défini; elle est générale. Nous devons également admettre que cette action de nappe est fossile dans ses grandes lignes et que ses effets sont prolongés actuellement par des nappes pluviales temporaires, qui redistribuent les carbonates anciennement déposés. Le profil NB 62 DEYSA présente à la fois des phénomènes d'érosion et d'action de nappe :

- 0-15 cm : 7,5 YR 5,5/5; brun jaune; très finement sableux, structure feuilletée sur les 3 premiers centimètres; parcouru de fines fissures verticales tous les 15 cm; structure massive, débit à faces planes; cohésion moyenne; porosité de type tubulaire, enracinement suivant les fissures.
- 15-36 cm : 5 YR 5,5/7; rouge jaune; même texture; également fissuré; débit polyédrique; cohésion moyenne à forte, hétérogène; également porosité tubulaire; remplissages de ces pores à structure fine lâche, souvent plus rougis que la masse; radicelles plaquées sur les faces des prismes où elles se ramifient.
- 36cm lit de sables déliés de teinte claire et dépourvus de ségrégations.
- 36-37 cm croûte brune lissée à sa partie supérieure, en continuité avec l'horizon inférieur.
- 37-75 cm 5 YR 5/7; rouge avec des plages diffusées plus rouges sur les trois premiers centimètres; même texture; parcouru de fissures verticales ne prolongeant pas les fissures des niveaux sous-jacents; structure massive, débit à faces planes, arêtes vives; cohésion forte; très dur; porosité tubulaire réduite; surfaces compactes plus abondantes; racines non ramifiées verticales perforant la croûte.
- 75-105 cm IOYR 6,5/6; jaune rougeâtre; même texture
- 105-180 cm IOYR 6,5/6; jaune rougeâtre; des petits amas calcaires friables
- 180-220 cm 2,5 Y 6,5/3; brun jaune ou brun olive; même texture; présence de carbonates.

La discontinuité est ici particulièrement évidente; la teinte brun olive des horizons profonds est souvent celle des horizons à carbonates. Ce sol est difficilement pénétré par les racines qui ont tendance à se localiser dans les fissures. Cette compacité est due à la finesse des sables qui constituent le matériau. La réduction du drainage par engorgement aboutit à la formation de profils à marbrures, tel que le NB 63 GESKEROU, enfoui sous 25 cm de colluvions :

- 25 cm croûte à face supérieure flexueuse, de 7-8mm d'épaisseur, parcourue de lignes grises et ocres, en continuité avec l'horizon suivant
- 25-40cm 7,5 YR 5,5/6; ocre marbré de taches diffuses plus rougies de 0,5 cm de diamètre; finement sableux à sable argileux; structure massive, débit polyédrique, cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire médiocre, quelques racines.
- 40-80cm IOYR 5/6 ocre jaune plus clair; même texture; débit polyédrique de 2 cm; cohésion moyenne à forte; porosité très fine; très fin pseudo mycélium calcaire sur les parois de galeries de moins de 2 mm de diamètre; quelques amas calcaires tubulaires.
- 80-190cm IOYR 6,5/5; ocre clair; des ségrégations ocres et noires dans les pores; même texture et structure; zone de concentration maximum du pseudomycélium.
- 190-220cm 2,5 Y 7,5/4; jaune très clair à ségrégations ocres; des traces de carbonates.

L'éventail morphologique des sols rubéfiés du Kadzell comprend donc des sols brun rouge, des sols brun rouge à raies; des sols brun rouge à amas calcaires, des sols brun rouge à marbrures, avec ou sans horizons supérieurs rapportés.

### 322 Propriétés analytiques

#### ° Matière organique

Le profil non polyphasé NB 60 a des taux plus élevés et plus rapidement décroissants qu'aucun des brun rouge précédemment décrits : 0,5% en surface diminués de 60% à 40 cm de profondeur; il en est de même du brun rouge à amas calcaire NC6, dépourvu de croûte enterrée. Les profils à horizons rapportés ont des taux plus faibles et à variations plus progressives : 0,15 à 0,30% en surface réduits de 20% à 40 cm, en moyenne. Parfois encore les taux restent à peu près constants sur près de 1 mètre lorsqu'ils sont très petits dès la surface (0,15%) : c'est le type d'accumulation d'un sol tronqué. Le C/N varie de 6 à 10 en surface, de 5 à 8 à 50 cm de profondeur, de 4 à 6 à 2 mètres. La loi générale de décroissance du C/N avec la profondeur, la plupart du temps masqué par les écarts analytiques, est ici bien vérifiée.

° Texture

La fraction sableuse est formée de sables très fins, à granulométrie régulière et bien triée. Les sables des horizons rapportés sont un peu plus grossiers et moins triés :

	mode en mm	écart type, valeur alpha
horizons rapportés	0,123-0,120	1,6 - 1,6
horizons en place	0,105-0,087	1,5 - 1,3

Les analyses granulométriques de routine ne peuvent mettre d'aussi faibles différences en évidence. Dans les profils non perturbés les horizons rougis renferment quatre fois plus d'argile et de limon que le matériau et deux fois plus que les horizons supérieurs; pour l'ensemble des prélèvements les taux varient de 6 à 11% en surface, 10 à 20% dans l'horizon le plus rougi 4 à 10% dans le matériau. Il y a peu de limons.

° Sesquioxydes

L'épaisseur totale des horizons rougis ne dépasse pas 1,5 m, le maximum de la rubéfaction se situe entre 40 et 80 cm, il correspond à une concentration du fer libre par rapport au matériau et aux horizons supérieurs. La croissance verticale du taux de haut en bas est très progressive, la décroissance vers le matériau plus rapide. La présence constatée d'horizons remaniés n'apporte pas de modifications systématiques à cette répartition; les taux de fer libre varient de 3 à 6,5% en surface, 5,5 à 9,5% dans le profil, 2,5 5% dans le matériau. Le rapport fer libre/fer total va de 47% à 57% en surface, 60 à 70% dans le profil, 40 à 42% dans le matériau.

° Le complexe absorbant.

La répartition des bases et Ph dans les sols les plus rougis (5 YR) et les mieux conservés est celle de sols dénaturés et acides. Les sols remaniés, foncés (7,5 YR), sont au contraire neutres et saturés. Dans tous les cas le Ph dépasse 7 en profondeur. L'équilibre des bases est caractérisé par la constance du rapport Ca/Mg et l'augmentation relative du taux de sodium dans les horizons à action de nappe. L'apparition d'horizons à amas calcaire coïncide avec celle de Ph de l'ordre de 8,5.

TABLEAU 2I

LE COMPLEXE ABSORBANT DES SOLS RUBEFIES DU KADZELL

	SOLS EN PLACE	SOLS REMANIES
Somme des Bases Echangeables		
en surface	3 à 4	2 à 5
dans le profil	3,5 à 8,5	5,2 à 7,4
dans le matériau	2 à 5	
Coefficient de Saturation		
en surface	54	70 à 100
dans le profil	60	100
dans le matériau	60	100
PH		
en surface	5,4	6,1 à 7,4
dans le profil	5,2	6,4 à 7,7
dans le matériau	7,5	6,7 à 8,5
Equilibres des bases		
Ca + Mg/Na + K	5 à 30	
Ca/Mg	1,4 à 1,8	
K/Na dans le profil	1 à 3,5	
horizons engorgés	0,05 à 0,1	

## ° Fertilité Chimique

La fertilité chimique est moyenne; les taux d'azote sont compris entre 0,2 et 0,3 pour mille, de phosphore entre 0,1 et 0,3 pour mille.

## ° Propriétés physiques

La stabilité structurale est basse et la perméabilité peu élevée : moins de 3 cm/h, en moyenne 1cm/h.



## ° Conclusions

Les profils les mieux conservés manifestent les effets de la migration des sesquioxydes et des bases vers la partie moyenne rubéfiée du profil. Ces répartitions ont été peu modifiées par les remaniements superficiels. Les actions de nappe se résument à un accroissement du Ph vers la profondeur, l'apparition de traces de carbonates (moins de 2%) l'augmentation relative du taux de sodium.

### 323 Extension

Ces sols s'étendent sur un flat remarquablement homogène compris entre les cotes 300 et 315 et coïncé entre la Komadougou, le cordon de Tal, le sillon du centre-Kadzell. On observe les sols les plus rougis aux cotes les plus hautes (Boudoum); les sables à sols rubéfiés augmentent en finesse vers le sillon central, dans lequel ils s'observent encore sur quelques levées.

### 324 Utilisation

Ces sols constituent les meilleures terres de culture de la cuvette tchadienne à l'Ouest du Mounio. Ils forment un terroir recherché depuis fort longtemps; l'homme a été témoin, sinon acteur, de la phase d'érosion générale. La pluviométrie (370 à 400mm) n'autorise que le mil pénicillaire et le Niébé. Nous estimons que ces sols valent un effort d'amélioration. En culture sèche il devrait porter sur le maintien du stock organique par des jachères mieux conduites. Les réserves minérales de ces sols sont excellentes, l'élément le moins bien représenté est le phosphore. En culture irriguée la difficulté principale sera d'éviter la salure des sols car ils reposent sur des niveaux alcalisés. Les sols de la dose d'irrigation devront être éliminés du profil; en effet la texture particulière de ces sols les rendra absolument imperméables dès le début de l'accumulation du sodium.

### 325 Cartographie

Ils forment une unité à sols brun rouge complexes et figurent d'autre part en association avec des vertisols, sols halomorphes, hydromorphes dans le bas Kadzell.

326 Conclusions

L'histoire pédologique des sols rouges du Kadzell nous semble la suivante :

- formation sur des sables alluviaux de sols ferrugineux très rubéfiés lessivés au moins en hydroxydes et à profil désaturé; nappe à faible profondeur.
- érosion des profils se limitant aux horizons lessivés, les moins bien agrégés.
- redistribution à faible distance des produits d'érosion
- maintien actuel de la rubéfaction et évolution du pH des dépôts superficiels vers la neutralité.

L'association de sols rubéfiés, de nappe à faible profondeur, sur des dépôts sableux s'observe également au NIGER Oriental dans la région de Dungass et au NIGER Central dans les vallées du bassin du Dallol Maouri.

C3-3 LES SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE DURCIS DE GLACIS331 Milieu de formation

Dans le Mounio, le Damagaram, le Damergou surtout, la couverture sableuse éolienne laisse apparaître des pans de glacis d'érosion, versants dénudés, rabotés et entaillés se raccordant à des buttes témoins. Ils se maintiennent sur des matériaux imperméables, susceptibles de libérer des éléments fins; ce sont soit des roches argileuses, comme les formations du Damergou, soit plus généralement les restes d'une ancienne couverture pédologique à horizons d'accumulation argileux et niveaux d'altération vertisoliques comme dans le Damagaram et le Mounio. Comme la pluviométrie est faible, le drainage externe fort, la perméabilité des sols petite, ces derniers ne s'humectent que peu profondément, sont rapidement et longuement desséchés. Le couvert végétal est maigre, formé d'une prairie discontinue de graminées naines xéro-  
philes, telles que Schoenefeldia gracilis, et d'éphémérophytes qui exploitent les réserves d'eau emmagasinées à la partie supérieure des sols où dans les plages d'éléments grossiers triés et accumulés par ruissellement et déflation. Les espèces ligneuses se rassemblent autour des ravines, des lignes d'accumulation temporaire des eaux de ruissellement; ce sont des arbustes très spécia-

masse fine, s'ajoutent des sables arrachés à la couverture éolienne ancienne, déblayée lors du développement ou de la remise au jour du glacis sous jacent, souvent réalimentée par la reprise éolienne locale des transports de fond des ravines. Sur ces versants transitent des dépôts à granulométrie fort variable d'un point à l'autre. L'érosion éolienne et hydrique que rien ne vient freiner, alternent au gré des saisons, décapant et compactant la surface des sols.

### 332 Morphologie

Les profils se présentent généralement comme des empilements de colluvions reposant sur un niveau pédologique plus ancien et définissable. Le profil NA 84 GANGARA est un cas extrême d'homogénéité en place sur des argiles sédimentaires :

- 0 cm Surface érodée à croûte lisse craquelée non squameuse; des sables vannés en rides; épandage très hétérogène et réparti par plaques formé de concrétions ferrugineuses noires, de débris de cuirasse, de petits galets.
- 0-3 cm 7,5 YR 4/4; brun rougeâtre; argilo-sableux; des plaquettes horizontales de 0,5 sur 2-3 cm; assemblage motteux; cohésion moyenne à forte; porosité vésiculaire sous la croûte, ailleurs fine, tubulaire, médiocre.
- 3-IIcm 5 YR 4/4; même couleur de la masse, mais faces des agrégats rougies; des agrégations rougies (moins de 1 cm) argilo-sableux; structure motteuse en plaquettes (3 x 3 x 8 cm) légèrement obliques; faces patinées dès le sommet de l'horizon striées; certaines faces verticales rugueuses (sables éoliens); cohésion excessive; porosité très réduite.
- II-25cm 5 YR 4/6; brun rouge, développement des surfaces rougies plus grand; argilo-sableux; structure cubique motteuse de 5/6 cm à faces supérieures et inférieures légèrement obliques; patines et striations très développées sur ces faces; sous structure cubique de 3 cm; cohésion très forte; porosité tubulaire fine médiocre inégalement développée.

- 25 - 45 cm 5 YR 4/6; même couleur d'ensemble, mais est le plus rougi; structure motteuse prismatique (10 x 5 cm) en assemblage compact; sous structure cubique; patines réduites cohésion forte; même porosité.
- 45 - 85 cm 5 YR 4/6; moins rougi; argilo-sableux; structure polyédrique en assemblage compact à arêtes très aiguës (1 cm) cohésion forte; porosité tubulaire assez grossière médiocre, mais développée au maximum dans cet horizon.
- 85 -100 cm 5 YR 4,5/6; brun rouge plus clair avec des remplissages plus clairs sableux, argilo-sableux; structure polyédrique fine en assemblage très compact; cohésion forte; même porosité, plus forte semble-t-il.

RESUME

Structure motteuse développée jusqu'à 45 cm. Maximum de développement des faces patinées vers 30; maximum de rubéfaction vers 45 cm. Porosité décroissant vers le sommet (engorgement)  
Pollution par des sables venus de la surface  
Pas de concrétionnement, pas de calcaire  
Enracinement non adhérent réduit, nul dès 40cm.

Ce profil est en somme un vertisol rubéfié à sa partie supérieure et ayant acquis des structures superficielles compactes et laminaires. Le rougissement, qui a la remarquable particularité de se manifester à la surface des éléments structuraux, est une caractéristique fréquente des sols de glaciais, constante au Damergou. La compaction des horizons superficiels apparaît toujours si la texture est suffisamment fine; elle explique le durcissement qui justifie le nom provisoire donné à ces sols. Rubéfaction et durcissement apparaissent liés aux modes d'humectation et d'érosion superficielles des versants subarides. Ils se superposent à des phénomènes plus banaux, tels que l'acquisition de structures vertisoliques par des argiles gonflantes, et probablement plus anciens, tels que l'approfondissement du profil, l'élimination du carbonate et des sels des horizons supérieurs, corroborées par l'expulsion du sodium du complexe absorbant; en effet les sols les plus jeunes du Damergou sur argiles sont plutôt du type ranker vertisolique, trois fois plus riches en sels solubles, et à complexe sodé, alors que les vertisols lithomorphes profonds sur pentes s'observent partout au NIGER avec des caractères constants quelle que

Le profil NA 86 GANGARA est au contraire entièrement formé de col-luvions sableuses.

En surface croûte, puis sables grossiers émoussés éolisés.

- 0-17cm Brun jaune, rougeâtre, avec deux lignes rougies; sablo-argileux sables éoliens et sables grossiers émoussés; structure en feuillets sur les 3 premiers centimètres; structure en plaquette en assemblage compact, parfois massive à débit cubique (3 cm); cohésion moyenne à forte, moyenne à faible pour les éléments motteux; faible porosité tubulaire (moins de Imm)
- 17-27cm Brun rougeâtre à ségrégations diffuses ocre rouge; sableux; structure polyédrique en assemblage compact (1 à 4 cm) aspect massif; cohésion moyenne; porosité d'assemblage lâche assez développée; porosité tubulaire faible.
- 27-80cm Rouge; hétérogène; canaux à remplissages ocre clair; sablo-argileux; structure polyédrique à arêtes vives (1 cm) en assemblage compact; cohésion très forte; porosité d'assemblage lâche très fine médiocre; porosité tubulaire (Imm) réduite.
- Profil non calcaire érodé.

La structure superficielle à éléments aplatis et compacts y est présente; la rubéfaction, plus progressive et profonde, se rapproche de la rubéfaction des brun rouge de la couverture éolienne. La présence de lignes rougies en surface est une manifestation d'un engorgement très temporaire, probablement provoqué par la faible porosité de l'horizon supérieur, avec redistribution des hydroxydes vers les zones plus aérées, en général formées de lits plus grossiers. C'est à cet engorgement limité et paradoxal, que les sols du Mounio et du Damagaram doivent en partie leur aspect particulier, que résume assez bien le NB 36 LIKARIRI :

- 0-1 cm croûte feuilletée très poreuse feutrée de radicelles à sa partie inférieure.

- I - 8 cm IOYR 5/3; brun grisâtre foncé, à traînées horizontales gris noirâtres, texture sableuse fine, avec quelques grains grossiers; structure en plaquettes fortement adhérentes entre elles, à débit massif à faces planes; cohésion moyenne à forte; sur structure prismatique; compact quelques pores tubulaires.  
Passe sur 2 cm à :
- 8 - 22 cm 5 YR 5/6 Rouge brun, texture sablo-argileuse riche en sables grossiers et petits gravillons ferrugineux (concrétions); structure polyédrique en assemblage très compact et faces rugueuses; cohésion forte; porosité tubulaire assez grossière bien développée, enduits sur les parois de pores; zone de ramification des racines.
- 22 - 44 cm banc de concrétions ferrugineuses à ciment ocre, périphérie brun rouille, sans cortex net coalescentes en amas feuilletés, à enduits argileux rouge 5 YR 5/6 à la partie inférieure, à revêtement blanc à la partie supérieure; les concrétions isolées ont moins de 1 cm; ensemble très poreux; d'aspect caverneux.
- 44 - 9I Formé de concrétions plus grosses et irrégulières à emballage blanc finement sableux ou brun ocre argileux selon l'orientation des faces; l'emballage est parfois ferruginisé et cimente les concrétions. L'horizon fait effervescence par points à la partie supérieure.

L'hydromorphie superficielle est probablement à l'origine de la décoloration du sommet du profil, car tel est son effet morphologique habituel; elle laisse également des traces plus visibles sous forme de ségrégations ocres sur les faces horizontales des agrégats. La base du sol est souvent formée d'un horizon dont la couleur, plus brune, la structure, à grosses galeries la présence éventuelle d'amas organiques carbonatés, sont d'origine biologique. Cet horizon n'est pas particulier aux sols de glaciaires mais aux sols reposant, comme c'est le cas dans le Mounio, sur une dalle à porosité grossière. Il est certain que cette discontinuité freine l'écoulement des solutions du sol, car on observe souvent des ségrégations ferrugineuses dans l'horizon biogène lorsque la porosité en est localement réduite, par exemple autour d'un nid de termites. Ces horizons profonds, grossiers, généralement formés d'anciennes cuirasses, d'horizons concrétionnés fossiles, de nappes, de graviers ou de cailloux reposant sur la roche altérée, sont le siège de processus es-

On y observe des accumulations de sesquioxides sous forme de raies, de concrétions tendres cimentant l'emballage des niveaux plus anciennement indurés, d'enduits à répartition dissymétrique, comme dans le profil précédent, où un matériau argilo-sableux, très riche en fer libre, se dépose à la face inférieure des feuillets concrétionnés, et des sables fins à leur partie supérieure. Très souvent la couleur des dépôts ferrugineux tendres des niveaux graveleux est la même que celle de la base du profil sus-jacent, dont ils ont été probablement entraînés.

Les accumulations calcaires peuvent être de trois types :

- amas et enduits friables localisés dans des fissures de la roche (granite et roche métamorphique) altérée, séparée en général du sol de glaciais par la nappe à concrétions ferrugineuses; c'est une forme peut être climatique d'expurgation des cations de la roche, et en tout cas la source générale des carbonates.

- nodules, amas, pseudomycélium calcaires à la base découverte (par exemple gris 2,5 Y 5/2) d'un profil de bas de pente; les nodules ont tendance à se concentrer à un niveau défini, alors que le pseudomycélium a une répartition plus diffuse, et envahit parfois le niveau gravillonnaire sous-jacent; c'est une forme d'accumulation de nappe, dont l'existence est confirmée par l'apparition de sodium dans le complexe absorbant, enrichie par les sels lessivés dans <sup>la</sup> zones d'altération précédente. Le profil est d'ailleurs la plupart du temps plutôt un sol brun de glaciais (à drainage réduit) qu'un brun rouge.

- ponctuations, amas organiques carbonatés, d'origine biologique; c'est la forme la plus commune, liée à l'activité des termites à la base du profil.

### 333 Propriétés analytiques.

L'ensemble des propriétés analytiques forme un tout peu homogène que nous sommes obligés d'ordonner selon les facteurs pédogénétiques qui nous ont paru leur correspondre.

° Propriétés communes aux sols de la zone subaride.

Les taux de matière organique sont peu élevés, inférieurs à 0,5% en général dès la surface, et les C/N. bas. Les pH sont supérieurs à 6 dans les horizons humifères.

° Propriétés propres aux sols de glacis.

La granulométrie varie d'un horizon à l'autre, tout en étant limitée à certaines textures. Elles ne sont ni très argileuses (moins de 40% d'argile), ni très sableuses (plus de 5% d'argile), le type le plus courant étant argilo-sableux à sablo-argileux (15% d'argile). Le taux d'argile des horizons supérieurs durcis peut-être celui des matériaux qui lui ont donné naissance, ce qui illustre le type d'érosion en nappe, qui ne provoque pas une éluviation préférentielle des éléments fins mais arrache en bloc une partie du profil. Dans deux cas nous avons observé que c'était cet horizon qui en était le plus riche, et qui possédait les rapports argile/limon et sables fins/sables grossiers les plus élevés. Ce décalage de la granulométrie vers la finesse ne nous semble s'appliquer que par un micro alluvionnement, celui qui engendre d'une façon générale les croûtes, sur le versant en fin de ruissellement. Les dépôts grossiers résiduels doivent donc être constitués par les lits de sables que l'on observe bien en saison sèche lorsque le vent les a ordonnés en ridules ou entassés en nebkas; ainsi, à la différence des dépôts fins superficiels, ils ne constituent pas d'horizons. Les niveaux grossiers méritant ce nom proviennent en effet de transports de fond de ravine ou d'oued (prolutions) qui peuvent être abandonnés sur le glacis alors que les éléments fins sont évacués jusqu'aux plaines de décantation. Donc, selon le cas, l'horizon supérieur d'un sol de glacis est formé par apport ou érosion, la résultante étant en faveur de cette dernière.

° Propriétés propres aux sols de glacis rubéfiés.

Les rapports fer libre/fer total et fer libre/argile sont très élevés dès la surface du profil. Ce sont des sols extrêmement riches en sesquioxydes, et cela d'ailleurs quelle que soit la couleur de l'horizon. Nous ne pouvons toutefois attribuer la cohésion des horizons superficiels à une cimentation par ces oxydes, car la fraction fine agrégée est très faible, presque nulle,



et cela pour tout les prétraitements (analyse de la structure par la méthode HENIN). Cette cohésion semble plutôt due à la compaction. Le profil NA 84 GAN-GARA, profil vertisolique, érodé, très rubéfié, voit les deux rapports précités décroître en même temps que le taux de fer libre vers la base du profil. Il est alors fort possible que le fer soit apporté dans les eaux de ruissellement qui pourraient le prélever dans les grès ferrugineux dominant le glaucis; cet apport se ferait en suspension, ce qui expliquerait que le pigment rouge soit localisé à la périphérie des agrégats. De nombreux profils montrent également un maximum superficiel du fer libre, mais coïncidant également avec un maximum du taux d'argile. Dans ce cas les apports superficiels ne sont pas séparables, le fer étant vraisemblablement apporté avec l'argile. La mobilité des sesquioxides rend plausible leur exportation hors du profil et leur accumulation dans les bancs gravillonnaires sous forme de raies, enduits, concrétions tendres.

° Propriétés dues à l'engorgement superficiel

Les horizons superficiels durcis les plus gris sont aussi les plus acides et les plus humifères :

horizons gris brun, notés IOYR 4-5/2-3,

matière organique % : 0,4 - 1,2    pH : 6,3 - 6,5    Saturation :  
50-70

horizons brun jaune ou ocre, notés 7,5 YR 4-5/4

matière organique % : 0,2-0,55    pH : 6,6-7,5    saturation :  
80-100

C'est l'effet normal d'une humidité édaphique plus prolongée. Toutefois la portée de cette explication, que nous tenons pour vraisemblable, est limitée par le fait que les horizons gris sont en général des horizons d'apport, les horizons plus colorés des horizons en place ou érodés.

° Propriétés diverses

Certaines propriétés sont liées au matériau ou héritées d'une pédogénèse ancienne, telles que la forte capacité d'échange et l'augmentation en profondeur du taux de sodium des sols du Damergou, du Mounio dans la région de Likariri.

Des taux de carbonate élevés, jusqu'à 20% sont imputables à une action de nappe que peut favoriser la position en bas de versant.

### 334 Utilisation

Ce sont uniquement des sources d'eau et d'éléments fins pour les zones de décantation ceinturant les pieds de glacis. Les sols du Damergou ont une valeur agricole certaine reposant sur leur richesse en bases et leur aptitude à emmagasiner de grandes quantités d'eaux. C'est précisément parce que ces réserves ne peuvent pas se constituer, parce que la pluviométrie est trop faible (250 à 350mm), la perméabilité insuffisante (de l'ordre du centimètre heure), la topographie défavorable, que ces sols ne sont pas cultivés. En outre on ne semble pas utiliser localement les techniques, simples mais efficaces, d'utilisation des eaux de ruissellement des zones sahéliennes. Par exemple des levées isohypses, même rudimentaires, permettraient de récupérer environ le cinquième de la surface de ruissellement pour des cultures de sorgho, les 4/5<sup>e</sup> restant fonctionnant comme impluvium. Les sols du Mounio et du Damagaram manquent d'épaisseur.

### 335 Cartographie

Dans les massifs les sols se répartissent en deux chaînes indépendantes. La première se développe sur la roche et, de haut en bas, comprend des lithosols les sols de glacis, des vertisols ou des alluvions argileuses. La seconde évolue sur la couverture éolienne et va du sol brun rouge complexe au sol brun à drainage réduit. La répartition de ces divers éléments nous a amené à définir les associations suivantes :

- association du Damagaram Nord-Est : les sols de glacis dominant, les remblayages à sols bruns tirsifiés, les vertisols sont abondants mais ne peuvent être dessinés.

- association du Damergou : les sols de glacis dominant, la couverture sableuse est réduite à quelques lambeaux; les principaux flats à alluvions argileuses ont été dessinés à part;

- association du Mounio Nord : massif fortement ensablé et découpé où les versants dégagés sont rares; les sols de glacis y sont peu fréquents.

### 336 - Conclusions

Les sols de glacis de la zone subaride peuvent être définis morphologiquement par un horizon rougi coiffé d'un petit horizon supérieur mécaniquement durci à structure laminaire. Ils présentent deux variétés. Dans l'une cet horizon supérieur est légèrement engorgé, renferme quelques ségrégations, est plus gris, et généralement correspond à un niveau d'apport. Dans l'autre il est plus coloré et possède la granulométrie de la masse sous jacente. Ils renferment de faibles quantités de matière organique très évoluée et de fortes quantités d'hydroxydes très mobiles. Le premier type morphologique est plus organique et moins saturé que le second. Il est surtout représenté dans le MOUNIO et le DAMAGARAM.

Le durcissement, l'apparition de structure feuilletée, la réduction de la porosité, sont des phénomènes voisins de ceux qui accompagnent la formation de croûtes sur les sols à engorgement temporaire de surface peu perméables. Sur les sols de glacis cet engorgement doit être imputable à la très faible porosité et perméabilité des horizons supérieurs littéralement damés par l'érosion superficielle. La rubéfaction serait due, soit à une imprégnation par des solutions ferrugineuses chargées par érosion de niveaux ferruginisés supérieurs soit à une rubéfaction d'hydroxydes préexistants; le dernier cas est aussi celui de flats à vertisols actuellement soustrait à l'inondation.

#### TABLEAU 22

PROPRIETES ANALYTIQUES ESSENTIELLES DES SOLS RUBEFIES DE GLACIS EN ZONE SUBARIDE (VALEURS EXTREMES)

	Sols à horizon supérieur gris	sols à horizon supérieur brun jaune ou ocre.
<u>Matière organique %</u>		
en surface	0,4 - 1,2	0,2 - 0,55
vers 20-30cm	0,22-0,28	
C/N tout le profil	7-11	
Taux d'argile % tout le profil :	5-35	
Fer libre % tout le profil	1,5-5,0	
Fer libre/Fer total %	60-85	

ID - CONCLUSIONS SUR LES SOLS SUBARIDES DU NIGER ORIENTALInterprétation générale

Les acquisitions des sols bien drainés en zone subaride, déduites de l'étude des sols de la couverture sableuse, acquisitions à la fois propres à tous les types et spécifiques des termes les plus jeunes, sont constituées par une rubéfaction peu prononcée décroissant vers la base du profil, une légère décoloration superficielle, une faible accumulation de matière organique bien décomposée, un enrichissement du profil en sesquioxydes et éléments fins par rapport au matériau. L'entraînement des bases est nul ou très faible et masqué par le caractère précédent. Ces acquisitions se surimposent à des caractères hérités de périodes anciennes à activité pédogénétique plus intense mais de même nature : individualisation poussée mais aussi lessivage des sesquioxydes, faible cimentation et structuration des horizons rougis, désaturation du profil. Cette surimposition n'affecte que les horizons supérieurs, mais alors très constamment, si bien qu'il assurent, et eux seuls, l'unité de la zone subaride.

Cette interprétation à son origine et sa confirmation dans la succession des sols mis en place antérieurement au cordon de Tal. Elle est également confirmée par la présence au Niger de deux grands types d'évolution sur sables éoliens anciens. Le premier ressemble à celui des sols du Manga et des ergs transversaux de la cuvette tchadienne : profils de moins de 2m dépourvus de structuration, à répartition des hydroxydes et éléments fins uniforme. Il se développe sur les parties rajeunies, remodelées des ergs anciens. Le second est celui des ergs réticulés à profils plus épais, légèrement structurés, souvent à raies ou horizons d'accumulation. C'est celui des modelés dunaires presque effacés.

Les sols bruns du cordon de Tal forment une coupure morphologique et non analytique dans la série évolutive des subarides rubéfiés. On pourrait admettre que l'absence de rougissement est dû à leur jeunesse s'il n'y avait pas les sols rouges du Kadzell, encore plus récents. Nous ne savons pas résoudre cette difficulté mais nous pensons que sa solution est liée à l'explication des deux faits suivants d'observation, actuellement contradictoires :

- au-dessous de 600 mm de pluies un très grand nombre de sites alluviaux anciens montrent la survivance de sols foncés à drainage réduit aux conditions de régime hydrique qui leur avaient donné naissance; les sols du cordon de Tal ne seraient qu'un cas particulier de persistance de morphologie non rubéfié.

- il existe dans les mêmes régions des formations alluviales sableuses où un engorgement par nappe, fossile ou actuel, ne s'accompagne pas de profils bruns ou hydromorphes mais de sols très rougis; nous estimons que les sols du Kadzell leur sont comparables.

Sur les versants non ensablés les sols acquièrent des caractères originaux dûs à des modes d'humectation et d'érosion particuliers, mais conservent le type d'accumulation organique, la rubéfaction, la réduction des phénomènes de lessivage, propres à la zone subaride, et se superposant à des acquisitions pédologiques plus anciennes.

Sur la carte au 1/500.000 la limite méridionale des sols subarides a une valeur zonale, correspondant en gros à la répartition climatique actuelle. Celà est dû à ce qu'elle a été tracée d'après l'aspect morphologique des horizons superficiels. Les limites intérieures, en dehors des limites d'association, sont des limites de modelé, autrement dit d'âge, car elles tiennent compte de la totalité du profil.

#### Valeur agricole des sols subarides

La pluviométrie est trop faible pour permettre des cultures sèches sur les sols bien drainés ailleurs qu'à leur limite méridionale. La fertilité minérale des sols peu évolués du Manga est de surcroît fort basse, alors qu'elle est acceptable dans les sols plus anciens et dans les sols rouges du Kadzell. Le facteur limitant principal est l'azote. La sensibilité à l'érosion superficielle dont dépend l'état de la couche arable est la plus forte dans les sols les plus jeunes, mais elle existe partout.

Les sols bruns à drainage réduit forment, avec des sols hydromorphes, l'essentiel des terres cultivées des zones pastorales, notamment dans le Manga. Ils possèdent des réserves organiques un peu plus fortes, sont mieux alimentés en eau, moins érodés.

Seuls les sols rouges du Kadzell, à notre avis, justifieraient des efforts d'amélioration agronomique, visant en premier lieu à maintenir le stock organique.

LES SOIS FERRUGINEUX TROPICAUX

---

## II.- LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

### IIA - GENERALITES

#### IIA-I DEFINITIONS

Les Sols Ferrugineux Tropicaux (ou Fersiallitiques) forment une Sous-Classe à Sesquioxydes Fortement Individualisés et à humus de décomposition rapide. Ils se distinguent des Sols Ferrallitiques par un ensemble de caractères analytiques traduisant une altération moins prononcée. Ils sont divisés en deux groupes selon l'action plus ou moins grande du lessivage de l'argile et des sesquioxydes sur la morphologie du profil :

Les Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés, à horizon lessivé à teinte et structure caractéristiques et horizon d'accumulation bien marqué.

Les Sols Ferrugineux Tropicaux Peu ou Non Lessivés où le lessivage n'est principalement décelable que par des variations de couleur.

#### IIA-2 EXTENSION

Les Sols Ferrugineux Tropicaux forment en Afrique au Sud du Sahara une ceinture zonale séparant les Sols Ferrallitiques des climats humides des Sols Subarides des climats Sahéliens. Les Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés, établis sur les roches les plus diverses, constituent la partie la plus méridionale de cette ceinture et prennent actuellement leur plein développement pour des pluviométries comprises entre 700 et 1.100 mm environ; cependant leurs restes, formés pendant des épisodes quaternaires plus humides, débordent largement cette zone vers le Nord, en milieu actuellement plus sec. Les Sols Ferrugineux Tropicaux peu Lessivés sont en fait, les sols de la partie la plus arrosée (700 à 400mm) de la couverture sableuse qui a envahi pendant les périodes quaternaires arides les marges Sahariennes de l'Afrique de l'Ouest. Sur ce matériau ils passent aux Sols Subarides Brun Rouge pour des pluviométries inférieures à 400mm



Tout le Niger Occidental situé au Sud de la ligne Kargerri-Olelewa, limite oscillant entre les isohyètes 300 et 500mm, est recouvert de Sols Ferrugineux Tropicaux Peu Lessivés. Dans ce territoire les pans de l'ancienne modelé sur grès du Continent Hamadien préservés de l'enfouissement éolien montrent des restes d'une couverture pédologique à Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés.

## IIB- LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES

### IIBI-MORPHOLOGIE GENERALE, EXTENSION DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES.

Les Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés présentent normalement la succession des horizons suivants :

- un horizon humifère et lessivé à structure massive et compacte (AI)
- un horizon décoloré lessivé (A2) à structure poreuse très mal ou non cimentée.
- au moins un horizon d'accumulation d'argile généralement coloré par des sesquioxydes (BA, Fe) à structure fragmentaire mais compact.
- divers horizons d'accumulation en argile à taches, concrétions, cuirasses ferrugineuses, pouvant coïncider avec le précédent.

Cette morphologie les prédispose aux phénomènes d'engorgement soit superficiel (imperméabilité de AI), soit profonds (compacité des B). Les paysages, les chaînes à sols ferrugineux tropicaux lessivés, le plus souvent établis sur des modelés à pentes très douces, sont caractérisés par la grande extension de sols à faciès hydromorphes, et en profondeur, par une circulation des sesquioxydes dont l'accumulation par immobilisation en certains points privilégiés donne lieu à la formation de cuirasses ferrugineuses.

On retrouve au Niger Oriental, entre la ligne Zineder-Takiéta et la vallée du Goulbi N'Kaba, un système de sols de faible épaisseur, formé par un mince placage argileux le plus souvent concrétionné et coiffé d'une nappe plus sableuse, occupant des glacis à faibles pentes, présentant très localement des cuirasses ferrugineuses, le tout plaqué sur le Continental Hamadien. Il occupe des panneaux non ensablés dont la forme et l'orientation régulières (NE-SW) sont dues aux

cordons dunaires de la couverture éolienne qui les limite. Les parties hautes sont soumises à une érosion en nappe intense, les zones basses à un engorgement temporaire de surface généralisé et renforcé par l'obstruction du réseau de drainage ancien. Les premières ont conservé des profils de sols ferrugineux tropicaux lessivés à ou à taches concrétions, les secondes ont des sols de type plutôt hydromorphe; l'ensemble est considéré comme les restes tronqués et remaniés par l'érosion d'une couverture de sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés à Concrétions. Cette disposition (voir I° partie IIC2) est soulignée sur les photos aériennes par l'opposition entre les taches claires des sols dunaires (savane lâchement arborée) et la teinte sombre des savanes boisées ou des fourrés arbus-tifs des sols à concrétions. Elle perd de sa netteté au fur et à mesure que l'on se rapproche de la vallée du Goulbi N'Kaba, les surfaces non ensablées étant de plus en plus petites et irrégulières.

IIB2- LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES A TACHES OU A CONCRETIONS SUR GRES ARGILEUX ET LES SOLS ASSOCIES.

B2-I LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES A TACHES OU A CONCRETIONS

2I-I Morphologie

Le profil NA 42 ZINDER est situé, sous une pluviométrie de 530mm, au tiers supérieur d'un versant à faible pente (1,5%) soumis à une érosion en nappe généralisée. La végétation, très caractéristique, est formée de fourrés épiphytes à *Acacia ataxacantha* et *Combretum micranthum* troués par les taches rondes et stériles de débris d'anciennes termitières :

- |          |  |
|----------|--|
| 0 - 9cm  | IO YR 7/3; beige, sableux, hétérogène; sables très fins mêlés de quartz; structure massive à débit cubique; très poreux, l'assemblage des grains du squelette étant très lâche; non agrégé; cohésion moyenne; très nombreuses et fines radicelles.                               |
| 9 - 30cm | Beige; de très légères taches diffuses brun ocre; sableux à sablo-argileux; structure à tendance polyédrique mais restant massive; nombreux enduits de sables très fins blancs; cohésion moyenne à faible; porosité de même type très développée; racines très fines abondantes. |

- 30 - 45 cm 7,5 YR 7/4; beige rosé; des plages peu visibles ocre et des saupoudrages de sables fins blancs; argilo-sableux; structure polyédrique à tendance cubique; cohésion moyenne; assemblage des grains encore lâche.
- 45 - 60 cm 5 YR 7/4; ocre rosé, non homogène; argileux à l'intérieur de gros canaux; structure polyédrique très irrégulière en assemblage compact (3 à 4cm); cohésion forte; porosité élevée, mais plus grossière et surtout de type tubulaire.
- Passe brusquement à :
- 60 - 70 cm Lit de concrétions ferrugineuses assez arrondies à cassure de grès, brun rouge à ocre, avec un cortex inconstant brun; taille 2 à 3cm; quartz propres saillant à la périphérie horizon riche en graviers de quartz de moins de 2cm; absents du reste du profil, et mieux pourvu en débris de quartz inférieurs à 5mm que l'ensemble 0 - 60cm; emballage argileux ocre rosé à macroporosité très développée (canaux).
- En continuité avec :
- 70 - 100cm Rouge clair, très argileux; riche en petits graviers de quartz de moins de 5mm; des noyaux gréseux arrondis jaunâtres de 7cm à la base du profil; massif; porosité comparable à celle de l'horizon 45 - 60 cm.
- 100..... Gris clair à larges taches et mouchetures rouge vif; argileux, très riche en grains de quartz; nombreux noyaux de grès jaunâtre; structure de ciment très massive.

L'interprétation en est la suivante :

- 0 - 9 cm : horizon humifère et lessivé, érodé.
- 9 -30 cm : horizon lessivé; noter sa porosité.
- 30 -60 cm : horizon d'accumulation surtout argileux
- 60 -70 cm : horizon d'accumulation en argile et sesquioxides concrétionné
- 70 -100cm : grès argileux remaniés.
- 100cm : grès argileux.

On notera les traces d'engorgement, très faibles, de la partie supérieure du profil. Il ne reste de ces sols à concrétions, le plus souvent, que

des nappes de gravillons ferrugineux coiffés d'une pellicule colluviale. Le niveau concrétionné peut passer à une cuirasse (ruptures de pente, têtes de thalweg). Nous avons noté des profils plus épais, à taches, dans la forêt classée de Takiéta, dont le peuplement végétal est plus riche que le précédent; les arbustes sont dominés par une strate arborée à *Boswellia Dalzielii*, et accrus de *Commiphora* sp., *Grewia flavescens*, *Croton zambesicus*, etc..., l'ensemble est de plus belle venue, mais conserve l'aspect xérophytique contracté, du peuplement à *Acacia ataxacantha*. Le profil NA 52 TAKIETA est situé à mi-pente d'un très long glacis peu pentu (1%).

- 0 - 13 cm IO YR 6,5/3; beige ocre, assez homogène, sauf 4 ou 5 lignes gris ocré; sableux; texture fine dont les éléments grossiers sont émoussés; structure massive, débit à faces planes, les faces horizontales plus nettes; cohésion moyenne; porosité vésiculaire sous la croûte; dans la masse porosité tubulaire et d'assemblage fines moyennement développées; peu de racines .
- 13 - 36 cm 7,5 YR 6/4; gris rosé à ocre; à plages diffuses et lignes sub-horizontales ocres; sablo-argileux; structure polyédrique de moins de 2cm à faces rugueuses irrégulières; des enduits argileux; cohésion moyenne à forte; des noyaux à cohésion plus forte; porosité d'assemblage et porosité tubulaire ( $\phi$  1 à 2mm) grossière bien développées.
- 36 - 66 cm 7,5 YR 5/5; ocre soutenu à plages brun ocre plus rougies, argilo-sableux à argileux; structure polyédrique plus large à faces régulières mais rugueuses; films argileux plus étendus; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire à la fois plus grossière et plus développée; porosité d'assemblage réduite. A la base de l'horizon dégrégations grises et ocre rouille dans des noyaux plus argileux.
- 66 - 80 cm Ocre brun; plus clair que l'horizon précédent; des marbrures rougies; argileux; riche en grains de quartz émoussés; présences de masses argileuses et ségrégations structure polyédrique fine (0,5 cm); des films argileux; cohésion moyenne à faible; porosité tubulaire et d'assemblage.
- Quelques concrétions tendres arrondies à cassure foncée de 0,5cm  
Passe brusquement à :
- 80 - 137cm Gris clair bariolé de taches à bords diffus rouge vif à core; argileux à argilo-sableux; riche en grains de quartz anguleux; structure massive à débit polyédrique; cohésion excessive; très dur; porosité tubulaire fine médiocre.
- De haut en bas l'horizon passe d'un fond plutôt ocre à taches grises à un fond plutôt gris à taches ocres.
- 137 - 142cm Sables particuliers, secs, blancs, hétérogènes, allant des graviers aux sables fins, avec des grains éolisés et quelques gravillons (concrétions) ferrugineux.

I42 - I60 cm Fond gris clair à taches jaunes et rouge vif; matériau argileux à sables grossiers; compact et dur; des revêtements argileux.

Le profil va de 0 à 80cm; les horizons lessivés sont peu épais (13cm); les horizons d'accumulation sont temporairement engorgés, surtout au-dessous de 66cm. Les grès sous-jacents sont particulièrement compacts et imperméables.

### 2I-2 Propriétés analytiques

Les taux de matière organique vont de 0,7 à 0,4% pour des C/N de 10-12; ils sont inférieurs aux taux moyens des sols lessivés.

On note 6-7% d'argile en surface et 20-30% dans l'horizon d'accumulation le plus riche, où le rapport argile/limon est des plus faibles (8-10); les sables renferment de 50 à 60% de sables grossiers. La capacité d'échantons de l'argile est faible : 20 méq/100 g. environ dans les B. Les taux de fer libre sont de 0,5-0,8% en surface, atteignent 1,1% en profondeur, pour des rapports fer libre/fer total correspondants de 65 et 70%.

Le profil est moins désaturé en surface (50-65%) qu'en profondeur (40%), ce qui fait que la somme des bases échangeables varie peu dans le profil : 1 à 2,5 méq; elle est faible (nature de l'argile, désaturation). L'ordre de décroissance des cations est Ca, Mg, K, Na, mais en profondeur Ca = Mg.

Le pH décroît de la surface (5,3 à 6,0) aux horizons d'accumulation (4,8 - 5,1), mais, peut remonter brusquement dans les grès sous-jacents (7,0).

La stabilité structurale est médiocre en surface (test de perméabilité : 0,5 à 0,3 cm/h) et s'améliore légèrement dans les horizons d'accumulation mieux cimentés, tout en restant mauvaise.

La fertilité chimique est moyenne avec des taux d'azote et de phosphore de 0,2 à 0,3%.

Ce sont donc des sols lessivés en argile et sesquioxydes, désaturés, modérément acides et plutôt pauvres en matière organique bien décomposée.

### 2I-3 Utilisation

Sous le climat local ces sols sont trop minces, trop imperméables, trop argileux pour être utilisés. Il faut faire une exception pour les sols à taches type NA 52 de la forêt classée de TAKIETA qui paraissent moins érodés, et peuvent porter des cultures, vivrières sur billons (sorgho) et, à la rigueur, du coton.

### 2I-4 Cartographie, Répartition.

Ces sols figurent, sous le nom de "Paléosols érodés", dans l'unité à sols à Pseudogley de Surface, à Taches et Concrétions, à caractères hérités de sols ferrugineux tropicaux lessivés. Sur le terrain on pourra les rencontrer surtout sur les glacis adossés aux reliefs résiduels de la bande cartographiée sous ce nom entre ZINDER et KANTCHE.

B2-2 LES SOLS A CARACTERES HERITES DE SOLS FERRUGINEUX LESSIVES22-I Morphologie

Le profil NA 35 TIRMINI a été ouvert dans une zone basse et plane, à drainage externe limité, sous une brousse arbustive à *Combretum micranthum* et *Acacia ataxacantha*, trouée de plaçages colluviaux stériles arrachés par le ruissellement à de grosses termitières :

- 0 - 2 cm Sous une surface noirâtre lisse (algues), croûte formée de feuilletés alternativement gris et ocres, épais de 1 à 2 mm, avec des taches rouilles associées aux zones grises.
- 2 -II cm 10 YR 5,5/2; gris localement plus clair par petites taches, à mouchetures ocres; texture sablo-argileuse, riche en sables fins, à sables grossiers émoussés et colorés; structure prismatique (15 sur 11 cm), sous structure massive se débitant en mottes à angles vifs et surface rugueuse, mal agrégé; cohésion forte; porosité fine, tubulaire, réduite; quelques gros canaux (moins de 1 cm) à remplissage très poreux; quelques radicelles.
- II -24 cm 10 YR 6/3; gris brun, avec taches diffuses gris clair ou ocres, sablo-argileux, plus riche en sables grossiers pouvant atteindre 2 mm et plus; des fissures fines tous les 15 cm structure polyédrique en assemblage compact, à faces rugueuses porosité d'assemblage et tubulaire plus fortes; cohésion moins forte; forte activité biologique; nombreuses racines;
- 45 cm Au sommet concrétions manganésifères ( $\phi$ ) 1,5 cm mamelonnées à quartz propres saillants, cassure noire, mince cortex brun ocre;
- Ensuite cuirasse ferrugineuse; éléments graviers (moins de 1 cm) de quartz, plus rarement galets de 5 à 6 cm concrétions ferromanganésifères arrondies à cassure ocre rouille et cortex brun; ciments; lames brun ocre à zones centrales noirâtres discontinues; en outre une matrice blanche argileuse à enduits roses clairs; quelques films argileux fendillés.

Ce profil peut être en première approximation considéré comme celui d'un sol à engorgement temporaire de surface sur colluvions. Cette hydromorphie partielle se manifeste par de petites ségrégations ferrugineuses et l'augmentation de

compacité des 10 premiers centimètres. La redistribution en lits horizontaux des éléments texturaux superficiels et une certaine hétérogénéité des sables de l'ensemble du profil sont celles d'une zone colluviale de transit, plutôt que celles d'une zone d'apport. On constate ensuite qu'à la différence des sols à pseudogley typiques sur matériaux d'apport, formés d'un empilement d'horizons tachés de plus en plus récents vers le sommet, sans liens morphologiques entre eux, ce profil offre une variation progressive de la couleur et des structures; en particulier le passage d'une structure massive à une structure polyédrique en profondeur est celle de sols ferrugineux lessivés érodés. L'augmentation de porosité vers la profondeur est accentuée par voie biologique au contact de la dalle cuirassée imperméable à emballage argileux. C'est cette dernière qui, jointe à la faible épaisseur et à l'imperméabilité du sol jacent, limite le drainage interne, favorise l'engorgement et le ruissellement. Elle a également entraîné la formation de concrétions manganésifères, assimilables au concrétionnement tardif déjà décrit à la base de sols subarides brun rouge sur ensablements localisés (voir NA 15 COURE), concrétionnement actuel ou subactuel que l'on attribue à des nappes à circulation oblique. On observe tous les intermédiaires entre les sols lessivés et de véritables sols hydromorphes polyphasés, dont le meilleur exemple est fourni par le NB 5 GANACHA, décrit aux pieds des buttes gréseuses du Koutous, dans une zone colluviale d'apport :

- 0 - 5 cm Jaune beige, hétérogène, à lits plus foncés (organiques) ou clair (sableux); sableux; sables hétérogènes soit éolisés soit anguleux; structure à tendance feuilletée; cohésion moyennement développée, de type vésiculaire sous la croûte.
- 5 - 20cm IO YR 7/2; brun clair, à lignes grises et à lignes moins distinctes plus ocrées; finement sableux; fissures fines tous les 30 cm; structure massive à tendance prismatique; débit régulier à faces planes plus facile horizontalement; cohésion moyenne à faible; très fine porosité moyennement développée; chevelu médiocre; quelques radicelles.
- 20 - 55cm IO YR 6,5/4; ocre brun à petites mouchetures de sables fins blancs à l'intérieur des canaux; des lignes plus foncées ferrugineuses subhorizontales, fines (3-4mm) nombreuses (tous les 5 cm à la base); même texture; structure massive à débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité plus grossière, d'assemblage; mal agrégé; quelques fines radicelles.
- 55 - 65cm Beige jaune à petites ségrégations ocre diffuses; sableux; structure massive; débit à faces planes rugueuses; cohésion moyenne; assemblage des grains presque particulier, porosité d'assemblage moins développée.

65 cm Discontinuité marqué par un lit de sables déliés grossiers.

65 - 93cm IO YR 7/4; ocre hétérogène; ségrégations ocre foncé (7,5 YR 6/6) très nette et mouchetures claires; argilo-sableux; structure polyédrique en assemblage très compact; cohésion excessive; porosité tubulaire grossière et médiocre des enduits à l'intérieur des canaux.

93 - I20cm Horizon formé de :

- Cailloux de quartz émoussés
- Concrétions arrondies de moins de 1cm à cassure brun-rouge avec léger cortex.
- Concrétions manganésifères bien individualisées sans cortex à patine jaunâtre.
- Emballage argileux blanc à ségrégations jaune ocre ce niveau, argilo-graveleux, est irrégulièrement disposé par poches.

I20 cm Voisin du précédent avec des amas calcaires abondants.

Résumé Apports récents sol peu évolué à raies/niveau ségrégations/niveau résidule carbonaté.

Ce profil montre deux caractères que l'on peut observer communément dans ces sols : des raies ferrugineuses fines accentuant les discontinuités texturales et la présence de carbonate de calcium dans le substrat graveleux et concrétionné. Le plus souvent cette accumulation est faible, se réduit à quelques amas punctiformes souvent localisés aux points de contact des cailloux et concrétions. A la base même du profil elle ne se traduit qu'analytiquement par une élévation du pH, à l'exception des sols les plus hydromorphes et les plus argileux qui peuvent renfermer de petits nodules. Elle est plus prononcée dans les bas de pente. Elle est commune dans les sols sur grès continentaux intercalaires et hémimadiens mais absente des sols sur grès du sommet du Continental Terminal; elle est en même temps très proche de celle qui a été décrite à la base des sols subarides brun rouge de glacis sur granites et roches métamorphiques. Elle est vraisemblablement due à l'évaporation d'une nappe temporaire en milieu grossièrement poreux, enrichie en carbonates par lessivage superficiel des roches plutôt que par lessivage des sols, nappe dont la circulation est ralentie par la dégénérescence du



du réseau hydrographique. Les caractères climatiques de cette accumulation, dans les limites 300 mm - 600 mm de pluies de nos observations, sont la prédominance des formes diffuses (pseudo mycélium), leur localisation superficielle à des horizons ou niveaux largement poreux; alors que sous une pluviométrie plus forte on observe surtout des nodules à plus grande profondeur : à l'intérieur d'horizons compacts. Nous résumons ci-dessous ces observations.

La plupart des profils sont peu épais (au plus 120cm), peu perméables dès la surface, la variation texturale et structurale des sols lessivés est souvent effacée par remaniements superficiels; l'hydromorphie se manifeste en deux points : en surface sous forme de ségrégations ferrugineuses, en profondeur dans et au contact du niveau graveleux cuirassé ou concrétionné, sous forme d'apports de carbonates et de sesquioxydes de fer et de manganèse.

#### 22-2 Propriétés Analytiques

##### ° Matière organique

Les taux varient de 0,2 à 1,1% en surface, les valeurs les plus fréquentes étant de l'ordre de 0,5%; à 20 cm de profondeur ils sont réduits à 0,2 % et à 80 cm il n'en reste plus que 0,15%. Ces taux sont suffisamment forte pour suivre la décroissance du rapport C/N qui décroît de 10-14 en surface à 8-11 à 40 cm et à 6-8 vers 80 cm. L'état organique de ces sols n'est donc pas très différent de celui des sols de glacis du Mounio et du Damagaram à horizon superficiel gris; il est dû à une humidité édaphique prolongée.

##### ° Texture

En général, le taux d'argile est compris entre 5 et 10% sur les 20 premiers centimètres, 10 et 30% vers 40 cm.

##### ° Sesquioxydes

Le rapport fer libre sur fer total a tendance à être maximum en surface où il varie de 60 à 80% alors qu'il n'est que de 50-60% vers 40cm. Le taux de fer libre est légèrement plus élevé en profondeur 0,5-1% contre 0,5-0,65%

° Le complexe absorbant

Les bases échangeables s'élèvent à 1-3 méq en surface, à 5 méq en profondeur. Les pH et coefficients de saturation des sols à profil "lessivé" encore reconnaissable, tel le NA 35, sont voisins de ceux des sols bien drainés, respectivement inférieurs à 6 et 50%. Les sols plus franchement hydromorphes ont des pH de 5,5 - 6,5 en surface, descendant à 4,7 - 6,0 vers 20 cm, niveau moins taché et organique, et remontant à 6,8 - 7,5 en profondeur; les coefficients de saturation sont beaucoup plus élevés; en surface ils varient de 95 à 100%, s'abaissent ensuite à 80-90% vers 20 cm, puis remontent à 90-100% en profondeur. Le type de variation des pH dans les profils est encore celui de sols lessivés; en outre l'hydromorphie tant de surface que de profondeur, a eu pour effet de les accroître et cette action est à rapprocher de l'accumulation de carbonates. La modification la plus importante, par rapport aux sols bien drainés, est le fort accroissement des coefficients de saturation qui conservent des valeurs élevées aux pH les plus bas. L'ordre de décroissance des cations est banalement Ca, Mg, K, Na; les sols proches de Koutous sont riches en potassium.

° Fertilité chimique

Ils sont bien pourvus en phosphore (0,5 à 1%) et très moyennement riches en azote (0,12 à 0,45%); la fertilité est classée comme moyenne, le plus souvent.

° Propriétés physiques

La stabilité structurale est très médiocre et la perméabilité très faible (moins de 0,5 cm/h) dans tout les profils, quelle que soit la texture.

° Conclusions

Ces sols ont conservé les mauvaises propriétés structurales des sols lessivés; l'hydromorphie en a accru le stock organique et élevé le coefficient de saturation en bases.

22-3 Extension

Ces sols forment l'essentiel de la couverture pédologique des grés continentaux qui n'ont pas reçu de couverture sableuse éolienne. A l'Ouest de Zinder un modelé à longs versants favorise la persistance de sols bien drainés ou faiblement

hydromorphes; à l'Est, sur un modelé plus aplani, et partout où l'ensablement n'a laissé découverts que de petits lambeaux de l'ancienne sur face, l'engorgement a plus profondément marqué les sols.

#### 22-4 Utilisation

L'imperméabilité et plus encore le manque d'épaisseur de ces sols y empêchent toute culture, en dépit de réserves chimiques appréciables. Le tapis herbacé ne peut fournir qu'un très maigre pâturage qui est surtout apprécié en hivernage près des terroirs densément peuplés entre Zinder et Kanché.

#### 22-5 Cartographie

Classés comme sols à pseudogley de surface à caractères hérités de sols ferrugineux, sur grés argileux, ils forment la dominante de l'association à Lithosols et Paléosols érodés des bandes étirées entre le Nord de Kanche et le Koutous. Ils entrent dans une association à sols peu évolués intergrade vers les sols subarides brun rouge située au Nord de l'erg de Toufafiram, dans deux associations à sols peu évolués intergrade vers les sols ferrugineux au Sud du Goulbi N'Kaba, dans une association à sols ferrugineux peu lessivés au Nord-Ouest de Zinder.

#### B2-3 LES SOLS CALCIMORPHES DES BROUSSES ANNELEES

Les zones basses des surfaces à sols à caractères ferrugineux hérités décrits précédemment sont souvent occupées par une formation arbustive contractée à clairières dénudées rondes. Ces dernières ne sont pas absolument stériles et portent souvent quelques *Schoenefeldia gracilis*. Elles correspondent très probablement à des surfaces d'étalement d'anciennes termitières dont l'édification s'était accompagné d'une concentration du carbonate de calcium et de l'argile prélevés dans les sols et les niveaux graveloux à hydromorphie temporaire. Le profil NA 4I ZINDER, très érodé est située dans une de ces zones d'aspect décapé :

0 - 13 cm Brun clair; sableux; formé par une succession de lit de sables hétérogènes, déliés, séparant des empilements (6 à 12) de croûtes de Imm.

A la base, fines et nombreuses radicales.

- I3 - I7 cm Brun jaune, des taches diffuses plus claires; argileux; riche en sables grossiers; structure polyédrique (3cm) à faces rugueuses; cohésion moyenne; semble bien agrégé porosité tubulaire fine assez bien développée; très travaillé par les insectes.
- I7 - 38 cm IO YR 5,5/6 ou E 63; brun jaune homogène; même texture; structure plus massive; porosité réduite.
- 38 - 60 cm Brun jaune; argileux; structure polyédrique assez fine (moins de 1 cm) en assemblage assez compact quoique peu cohérent; très riche en pseudo-mycélium calcaire blanc rosé très fragile, cohésion des agrégats moyenne; même porosité.
- Dès 40 cm taches diffuses plus ocrées; en outre taches foncées; brunes, de moins de 1 cm, plus ou moins arrondies, très légèrement durcies.
- 60 - 93 cm Gravier de quartz (moins de 2 cm), de grès (moins de 6cm) et concrétions à cassure de grès fin rouge, rondes à cortex brun jaune, de moins de 1 cm, emballés dans une pâte argileuse ocre, avec quelques enduits manganésifères; assemblage massif laissant subsister une bonne porosité tubulaire ( $\varnothing$  2 à 3mm); mycélium calcaire plus concentré.
- 93 -I40 cm Se distingue du précédent par des trainées d'argile blanche; également riche en mycélium.

Nous l'interprétons ainsi :

- 0 - I7 cm : colluvions sableuses
- I7 - 60 cm : matériau de termitières décarbonaté sur 20 cm, à carbonate redistribué sous forme de mycélium agissant sur la structure.
- 60 -I40 cm : niveau graveleux temporairement engorgé.

Les sols sous arbustes ne sont pas calcaires et sont plus sableux. La contraction de la végétation est due à la fois à cette différence texturale, à la stérilité générale des produits d'épandage de termitières, à un pH et des taux de sodium anormalement élevés dans les horizons carbonatés. On sait par ailleurs que les taux de calcaire (I-2%) rencontrés provoquent habituellement une certaine spécialisation de la végétation mais pas sa disparition.

Le plus souvent on rencontre la brousse annelée en ceinture autour de petites mares ou zones de colmatage

#### B2-4 CONCLUSIONS

Sur les grés continentaux une ancienne surface partiellement enfouie sous les sables montre les restes d'une pédogenèse à sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés à Concrétions. Un raboutage puissant, antérieur à l'ensablement, n'a le plus souvent laissé subsister qu'une nappe concrétionnée enfouie sous une faible épaisseur de colluvions actuellement nourris soit par les grés des buttes, soit par des vestiges de sols bien drainés soit par remontées biologiques. Les restes de sols en place sont rares et le plus souvent modifiés par hydromorphie temporaire de surface et de profondeur; cette dernière est caractérisée par des dépôts carbonatés localement concentrés.

Le manque d'épaisseur et les mauvaises propriétés structurales de ces sols rendent très difficile leur utilisation agricole.

#### IIC LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES

#### IIC-I DEFINITIONS

Les sols Ferrugineux Tropicaux Peu Lessivés n'ont été observés que sur les matériaux de la couverture sableuse, perméables et pauvres en éléments fins (fraction argile et limon inférieure à 10%). Alors que les horizons supérieurs, faiblement humifères, sont très franchement décolorés, les horizons profonds sont plus colorés que le matériau et généralement rougis. Ces variations de couleur forment l'essentiel de la morphologie des profils, car les variations de structure y sont le plus souvent réduites à des variations de porosité. On observe une concentration des éléments fins et des sesquioxydes dans les horizons profonds colorés qui en sont toujours plus riches que le matériau. Cet enrichissement est attribué à une illuviation aux dépens des horizons supérieurs décolorés.

Les Sols Ferrugineux tropicaux Peu Lessivés se distinguent des Sols Subarides Brun Rouge essentiellement par la couleur plus claire des horizons supérieurs. Les sols à profil intermédiaires entre ceux de ces deux grandes unités ont été classés comme Sols peu Evolués d'Apport Intergrade vers les Sols Ferrugineux Peu lessivés.

## IIC-2 EXTENSION

Les Sols Ferrugineux Tropicaux Peu Lessivés forment le second grand ensemble zonal de la carte des sols du Niger Oriental dont ils occupent le Sud-Ouest, au Sud des isohyètes 350-450mm; les sols les plus évolués ne s'observent qu'au Sud de l'isohyète 500 mm, la bande intermédiaire étant occupée par les Sols peu Evolués Intergrades vers les Sols Ferrugineux. Les premiers se sont formés sur d'anciens modelés dunaires généralement très aplanis, les seconds sur des ensablements plus récents localisés dans de vastes dépressions : centre du Bassin du Goulbi N'Kaba d'une part, extrémité occidentale de la cuvette tchadienne d'autre part, du Mounio aux sorces de la Korama.

## IIC-3 LES SOLS PEU EVOLUES INTERGRADES VERS LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES

### C3-I LES SOLS FERRUGINEUX PEU EVOLUES SUR LA FORMATION SABLEUSE DES ERGS ORIENTES

#### 3I-I Morphologie

Le profil NA 27 BRIGI MAINA a été décrit sur la limite méridionale des formations à *Commiphora africana*, au sommet d'une dune située au Sud de la dépression ensablée du bassin du Goulbi N'Kaba.

0 - 20 cm 7,5 YR 6/4; beige jaunâtre à beige ocre; texture sableuse à sables grossiers; structure feuilletée en surface, puis massive à débit à faces planes; cohésion faible; porosité d'assemblage lâche assez fine; canaux d'insectes chevelu fin dense et assez nombreuses radicelles horizontales.

- 20 - 45 cm 5 YR 5,5/4; ocre brun; de fines lignes gris rougeâtre discontinues et quelques taches très diffuses plus rouges; même texture; structure massive; cohésion faible à moyenne; porosité d'assemblage lâche moyennement développée; quelques pores inférieurs au mm; chevelu fin assez dense; quelques radicelles verticales.
- 45 -I09 cm 5 YR 5,5/6; jaune rouge; taches et lignes rougeâtres (épaisseur 3-4 cm, écartement 5-10cm) visibles surtout vers le sommet; structure massive; cohésion moyenne, plus forte dans les raies; porosité de même type légèrement réduite disparition des pores; encore quelques radicelles.
- Plus clair à la base avec ségrégations plus jaune et diffuses.
- I09-I70 cm 5 YR 6/6; jaune rouge pâle; presque homogène; structure massive et débit à faces planes non orientées; cohésion faible, presque particulière; néanmoins plus tassé que les horizons supérieurs.
- I70-200 cm 5 YR 6,5/6 sableux jaunes ocre offrant le minimum de porosité et de structuration du profil.

Ce profil est intermédiaire entre celui d'un sol subaride brun rouge et celui d'un sol ferrugineux peu lessivé. Il est essentiellement caractérisé par l'horizon supérieur dont la décoloration s'arrête à une teinte jaunâtre très caractéristique de ces sols. La rubéfaction est bien visible, mais peu prononcée, le matériau étant fortement coloré. Les variations de structure n'intéressent que la porosité. La présence de raies d'accumulation dans l'horizon rougi précédées de stries gris rougeâtre dans l'horizon supérieur intermédiaire est également fréquente. Dans la vallée elle-même les sols de ce type ont subi, dans les parties hautes des dunes, une phase de remaniement éolien qui les a fortement rajeuni. La partie supérieure du profil, sur une épaisseur pouvant dépasser le mètre, est formée de sables particuliers de couleur rosé, plus pâle que celle des anciens profils, dont on retrouve les horizons rougis enfouis en profondeur.

Le profil suivant, NA.55 GARAGOUNZA, se développe sous une pluviométrie plus élevée, 560 mm contre 360 mm précédemment, donc en pleine zone à sols ferrugineux peu lessivés évolués, mais sur une partie rajeunie d'un erg longitudinal, formant un long cordon sableux au Nord de Takieta :

Sables bruns déliés en surface.

- 0 - 10 cm 10 YR 5/3,5; brun gris à remplissages plus clairs; humifères; texture sableuse moyennement fine bien calibrée; structure feuilletée à cohésion faible devenant massive à débit régulier plus facile horizontalement en profondeur; cohésion faible; assez tassé; porosité intergranulaire moyenne; chevelu fin moyen; quelques radicelles horizontales.
- 10 - 30 cm 7,5 YR 4,5/4; brun rougeâtre foncé, homogène; humifère; sableux; structure massive à débit légèrement irrégulier; cohésion faible; porosité localement plus développée que ci-dessus chevelu fin très abondant; des radicelles verticales.
- 30 - 50 cm 5 YR 4/4; brun rouge, à zones rougies diffuses; encore humifère sableux; structure massive à débit anguleux cohésion très légèrement plus forte; ensemble mieux agrégé; porosité d'assemblage d'agrégats semblable à celle de l'horizon précédent; très fin chevelu abondant.
- 50 -70 cm 5 YR 5/6; rouge brun pâle; homogène; structure massive à faces planes; cohésion et porosité plus faibles; chevelu réduit.
- 70 -90 cm 5 YR 5/8; jaune rouge; débit très régulier, cubique, cohésion faible; porosité essentiellement, à nouveau; de type intergranulaire.
- 90 -175cm 7,5 YR 5/8 au sommet.  
7,5 YR 6/6 à la base, jaune rouge pâle; sables éoliens tassés à débit très régulier à faces planes, porosité intergranulaire; des radicelles jusqu'à 150 cm.
- 175 -205cm 7,5 YR 6,5/6; sables éoliens jaune clair à grains colorés roses; même structure.

Dans cette description on a dû multiplier les horizons à cause de la très grande progressivité des transitions. Ce profil présente deux groupes de propriétés :

Le premier est typique des formes les plus jeunes des ergs orientés caractérisés par la prairie à *Aristida longiflora* : épaisseur nettement inférieure à 2m, rubéfaction très prononcée, transitions très progressives, variations de porosité très faibles et limitées au plus au premier mètre, cohésions faibles, horizon rougi toujours coiffé d'un horizon brun ocre; il n'y a pas de raies.



Le second justifie la classification du profil dans les sols ferrugineux; il se réduit à la présence d'un petit horizon humifère très clair, grisâtre, qui est remplacé par un horizon brun jaune en région plus sèche où ces sols sont classés comme sols subarides brun rouge.

Les sols ferrugineux peu évolués se distinguent donc des sols ferrugineux se distinguent donc des sols ferrugineux peu lessivés par des horizons rougis à structure non différenciée et des sols subarides brun rouge par des horizons supérieurs plus clairs et épais. Cette dernière distinction est fort délicate, chaque profil posant un problème particulier. Nous résumons ci-dessous les couleurs des horizons supérieurs :

TABEAU 23

SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE		SOLS FERRUGINEUX PEU EVOLUES	
Couleur	Epaisseur	Couleur	Epaisseur
10YR 5,5-6/3	10-20 cm	10YR 5-6/4	10-20 cm
7,5 YR 5-6/4	5-15 cm	7,5 YR 5-6/4	10-30 cm
7,5 YR 5-6/5	15 cm	7,5 YR 5-6/5-6	28-30 cm
5 YR 5-5,5/4	5-10 cm	5 YR 4-5/4-5	5-20 cm

(Les chevauchements de couleurs sont exagérés par le code Munsell, peu sensibles aux teintes 7,5 YR (brun jaune).

### 3I-2 Propriétés analytiques (Tableau 24)

#### ° Matière organique

On constate une faible accumulation de matière organique bien décomposée; la zone de décroissance rapide des taux est communément profonde de 30 cm. La répartition moyenne est la suivante :

à 10 cm	: 0,24%	à 60 cm	: 0,16%
à 20 cm	: 0,22%	à 100 cm	: 0,12%
à 40 cm	: 0,19%	à 200 cm	: 0,06%

° Texture

La granulométrie des sables constituant le matériau est celle de la sous formation des "petits ergs du Sud Ouest" à mode compris entre 0,2 et 0,25mm. Ce sont des sables déjà fins et bien triés, dont la mise en place est plus récente que celle des "grands ergs transversaux" à sols évolués. Le taux d'argile et de limon ne dépasse pas 10% dans le profil; il est maximum à une profondeur comprise entre 30 et 70 cm, soit au sommet ou au milieu de l'horizon rougi. Le minimum est en surface, dans le premier horizon décoloré. Le lessivage n'explique pas à lui seul cette répartition, car l'épaisseur des horizons appauvris est trop faible; on doit donc supposer leur érosion; cette ablation porte sur toute la granulométrie, avec un très léger décalage vers les fractions fines : on constate en effet que trois fois sur quatre le premier horizon est plus riche en sables grossiers, le mode augmentent de 0,01 à 0,03 mm.

° Sesquioxydes

La variation du taux de fer libre est parallèle à celle du taux d'argile et de limon, avec plus de régularité. La comparaison des taux et des épaisseurs suggère également l'érosion des horizons supérieurs. Les rapports fer libre sur fer total sont plus élevés que dans les profils brun rouge et maxima dans les horizons rougis.

° Le complexe absorbant

La saturation, à peu près complète en surface, décroît vers la base du profil, mais le maximum du taux des bases échangeables coïncide cependant avec celui du taux d'argile et de limon. Il ne dépasse pas deux milliéquivalente en surface. Le pH varie autour de 6 de façon irrégulière dans le profil; cependant les maxima ont lieu le plus souvent en surface et les minima dans l'horizon rougi. La distinction analytique la plus constante d'avec les sols subarides est précisément l'abaissement des pH au-dessous de 7 dès la surface.

L'équilibre moyen des bases est le suivant :

Ca = 25 Mg = 13 K = 3 Na = 1 (en valeurs relatives).

## PROPRIETES ANALYTIQUES DES SOLS FERRUGINEUX JEUNES PEU LESSIVES

DONNEES ANALYTIQUES	ERGS ORIENTES			MANGA et KORAMA		
	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne
<u>Matière organique %</u> en surface (0-10cm)	0,28	0,22	0,24	0,30	0,20	0,22
vers 30 cm	0,23	0,18	0,22	0,18	0,11	0,15
<u>C/N</u> en surface	13,3	8,4	11,3	11,3	7,9	9,5
<u>Argile + Limon %</u> en surface	4,5	3,0	4,0	3,2	0,8	1,9
horizon rougi	11,0	7,0	9,1	5,0	1,0	2,9
matériau	6,4	4,5	5,0	3,5	0,8	2,1
<u>Fer libre %</u> en surface	0,38	0,22	0,30	0,35	0,19	0,24
horizon rougi	0,80	0,42	0,53	0,43	0,25	0,33
matériau	0,40	0,27	0,31	0,21	0,06	0,12
<u>Fer libre/Fer total %</u> en surface	72	56	66	75	47	60
horizon rougi	81	70	76	81	56	69
matériau	87	54	63	54	41	+
<u>pH</u> en surface	6,7	5,5	6,1	7,3	5,7	6,4
horizon rougi	2,7	1,1	1,9	2,4	0,7	1,3
matériau	1,0	0,6	0,8	1,6	0,9	1,1
<u>Somme des bases échangeables</u> méq/100 g en surface	2,0	1,2	1,5	1,8	1,1	1,4
horizon rougi	2,7	1,1	1,9	2,4	0,7	1,3
matériau	1,0	0,6	0,8	1,6	0,9	1,1
<u>Coefficient de saturation%</u> en surface	100	76	91	100	62	88
horizon rougi	100	58	80	100	77	92
matériau	55	50	52	100	81	91
<u>Equilibre des bases</u> dans tout le profil)						
Ca + Mg/Na + K			9			22
Ca/Mg			2			4,5
K/Na			3			0,85

addendum : Dans les sols sur cordons (ergs orientés) les taux d'argile et limon ne sont que de : 1,5 4,4 2,4 aux trois niveaux considérés

° Fertilité Chimique

Elle est basse; ces sols sont relativement mieux fournis en phosphore qu'en azote : 0,25 à 1%, contre 0,12 à 0,18% .

° Propriétés physiques .

Ces sols ne sont absolument pas aggrégés; la perméabilité est de l'ordre de 1,2 cm/h.

° Conclusions

On peut admettre, pour ces sols, une migration de l'argile et du fer s'accompagnant d'une baisse du pH et d'une augmentation du rapport fer libre sur fer total dans l'horizon humifère. Le type d'accumulation de matière organique se distingue de celui des sols subarides par une légère augmentation du stock organique de l'ordre de 13% en moyenne sur les 30 premiers centimètres.

3I-3 Extension

Elle coïncide avec la zone la plus méridionale de la Province Boréale Occidentale des Formations Steppiques et Désertiques, occupée par une savane lâchement arborée à *Poupartia Birrhoea* avec un tapis graminéen où *Aristida longiflora* domine le plus souvent sur *Cténium élégans*, *Andropogon amplexans*. Le modelé est celui d'ergs transversaux rajeunis dans la dépression du Goulbi N'Kaba dont la couverture sableuse, totale, porte en ses points hauts des sols extrêmement jeunes, de type brun peu évolué, localement anthropiques. Vers le Sud l'ensemblement laisse apparaître les grès continentaux; il se présente alors sous formes d'alignements de dunes arrondies.

Plus au Sud les sols peu évolués ne forment plus que des surfaces isolées et limitées aux parties les plus jeunes des ergs transversaux à sols ferrugineux évolués, essentiellement les cordons longitudinaux qui les limitent.

Le modelé de l'erg de MYRIA est encore celui des ergs transversaux mais ses sols sont plus proches de ceux du bassin de la Korama que de ceux du bassin du Goulbi N'Kaba; aussi les décrivons nous aux paragraphes suivants.

### 3I-4 Utilisation

Ces sols conviennent à la culture du mil pennisetum, du niebe, du manioc doux, à l'exception des sols sur cordons longitudinaux, à taux d'éléments fins très bas (voir tableau 24). Ces derniers portent de médiocres paturâges à *Aristida longiflora*.

La pluviométrie n'autorise la culture de l'arachide et du sorgho que dans les dépressions.

### 3I-5 Cartographie

Une première unité est formée par les "Sols de la vallée du GOULBI N'KABA" s'étendant principalement en rive gauche au Sud du Damergou. En rive gauche ces sols s'associent aux sols sur grès continentaux, sols hydromorphes à caractères hérités de sols ferrugineux lessivés; une première association, à sols bien drainés dominants (c'est-à-dire à sols ferrugineux peu évolués dominant), correspond à l'apparition des grés dans quelques dépressions interdunaires; la seconde, à sols mal drainés dominant, est formée de sols de dunes rondes isolées parsemant la surface sur grés continentaux au Nord de TAJAE.

On n'a pas mentionné ni cartographié les sols des cordons longitudinaux on les observe surtout dans l'élargissement d'ergs longitudinal visible au Nord de GARAGOUNZA.

L'erg de MYRIA forme une association à sols à engorgement de nappe carbonatée, ces derniers visibles dans les interdunes.

## C3-2 LES SOLS FERRUGINEUX PEU EVOLUES SUR LA FORMATION SABLEUSE DU MANGA ET DE LA KORAMA

### 32-I Morphologie

Le profil NB 22 ADOUMCHI a été décrit sur un replat bien drainé d'une série d'ondulations transversales observables en bordure Est du Mounio, sous une savane lâchement arborée à *Acacia Raddiana* et *Senegal*, avec tapis de graminées annuelles.

- 0 - 6 cm IO YR 5,5/4; brun jaunâtre foncé à remplissages venus des horizons inférieurs; sableux; sables éoliens de 0,22 mm en moyenne; structure à tendance feuilletée, localement motteuse; cohésion faible; porosité très fine; enracinement horizontal fin et dense.
- 6 - 20 cm Horizon plus clair et plus ocre; très faiblement humifère; sableux; structure massive à débit non orienté cohésion faible; bonne porosité, très fine; chevelu moyennement développé très fin.
- 20 -40 cm 7,5 YR 4/6; brun rougeâtre; sableux; structure massive à débit en mottes plus arrondies; cohésion très faible assemblage des grains presque particulaire; porosité forte très fine.
- Vers 80cm Base de l'horizon précédent.
- 130 cm 7,5 YR 5,5/8 (très approximatif); moins brun et plus ocre que ci-dessus.
- 200 cm IO YR 7/6; jaune clair; cette décoloration est progressive.

Ce sol est dépourvu de toute structure agrégée et ne montre qu'un léger tassement sur les 20 premiers centimètres; on n'y observe pas les faibles variations de porosité et de débit des sols sur ergs orientés. La décoloration est sensible sur 20 cm et, comme toujours, particulièrement mise en évidence par les 6 premiers centimètres remaniés par érosion superficielle. La rubéfaction n'a pas de limite inférieure définissable, le profil s'éclaircissant progressivement vers la base; elle est également peu intense. Sous les prairies de graminées vivaces qui recouvrent la cuvette tchadienne entre le Mounio et le bassin de la Korama on observe des sols voisins mais encore moins différenciés, à structure pratiquement particulaire sur tout le profil, à variations de couleur très atténuées et progressives, dont le NB 29 MALWA est un bon exemple :

Aspect superficiel; Sables déliés et nombreux rejets colorés.

- 0 à 3 cm Brun jaune; sableux assez fin; Structure à tendance nuciforme; cohésion faible.
- 3 à 15cm 7,5 YR 5/5; brun; très faiblement humifère, mais plus que le précédent; Assez nombreux canaux de 0,5 cm, de diamètre; Structure massive à débit à faces planes; Cohésion faible; Tendance particulaire.

- 15 à 25 cm 7,5 YR 5/6 (en plus vif); Ocre brun légèrement rougi;  
Même texture, structure, et porosité fine comme le  
précédent.
- 25 à 60 cm 7,5 YR 5/6 (en plus rouge) : Ocre; Plus particulière et  
moins dur que les précédents.
- 60 à 220cm Décoloration progressive jusqu'à Ocre très pâle.  
7,5 YR 6/6 : 120 cm  
7,5 YR 7/6 : 150 cm  
10 YR 8/4 : 220 cm

Les sols de ce type manifestent une forte instabilité superficielle qui se traduit, lors des crises d'érosion éolienne, par le rajeunissement par ablation des horizons supérieurs et par la formation de buttes sableuses étirées, parsemant le modelé ancien, et portant des sols très jeunes dont le sens d'évolution n'est pas encore décelable, tel le NB 25 BOUNE.

Sables déliés de 2-3cm, d'épaisseur jaune brun

- 0 - 4 cm 5 YR 4/4; ocre brun, très coloré; matière organique mal répartie; sableux; sables moyens (0,22 mm); structure massive à tendance feuilletée, débit nuciforme; cohésion faible; assemblage des grains particulière; très fine porosité, bien développée; radicelles verticales assez denses.
- 4 -13 cm 5 YR 5/6; horizon plus ocre, pratiquement particulière, à cohésion très faible; porosité très fine bien développée, zone d'enracinement maximum.
- 13 à 35cm 5 YR 5/8 ocre; sables peu tassés sans structure différenciée, à cohésion très faible.
- 220 cm est légèrement plus jaune.

On observe donc les mêmes stades d'évolution que pour les sols brun rouge peu évolués du Manga; la seule différence est dans les couleurs des horizons supérieurs (voir tableau 23).

Les sols du bassin de la Korama et ceux des petits ergs de bordure, tel celui de Myria, ont en commun avec les précédents l'absence à peu près complète de structure différenciée mais s'en distinguent par un horizon humifère plus épais et une rubéfaction moins prononcée, l'ensemble du profil étant de teinte plus neutre. Ils présentent également des degrés d'évolution variables, les sols de sommet de buttes (NA 60 KAPIN BAKA) ayant un aspect plus "jeune" que les sols en position moyenne (NA 61 KAPIN BAKA).

NA 60. KAFIN BAKA :

Rejets sableux et litière à feuilles et débris de légumineuses; sables déliés sur 2-3 cm.

- 0 - 15 cm 7,5 YR 5,5/6; brun jaune; matière organique mal répartie par taches brunes ou sous forme de débris mal décomposés; sables éoliens moyens bien calibrés; nuciforme sur 4 à 5cm puis massif à débit régulier; cohésion faible, est presque particulaire; porosité intergranulaire bonne; porosité tubulaire assez développée; nombreuses radicules.
- 15 - 320cm 7,5 YR 6/6; plus jaune, pas de ségrégations; particulaire sables meubles; remarquable par la constance de la coloration.

NA 61 KAPIN BAKA

- 0 - 20 cm Sables déliés plus claires, des rejets blancs.  
10 YR 5,5/4; brun gris; humifère, mais matière organique mal répartie; même texture que NA 60; massif, débit à faces planes, cohésion faible; porosité intergranulaire forte; quelques canaux ( $\phi$  moins de 5 cm); enracinement fin et dense.
- 20-45 cm 7,5 YR 5/5; brun légèrement rougi; moins humifère massif mais débit plus anguleux; porosité intergranulaire également développée, porosité tubulaire très fine bonne; chevelu très abondant.
- 45-100 cm 7,5 YR 5,5/6; de plus en plus clair et jaune vers la base; quelques ségrégations; particulaire; est humide.
- 100-140cm 10 YR 8/3; sables blancs particulières.



En résumé, les sols ferrugineux peu évolués sur formation sableuse du Manga et de la Korama ont en commun les propriétés suivantes :

- structure particulière sur tout le profil
- horizon humifère franchement décoloré mais d'épaisseur très variable
- rubéfaction peu poussée, en général dans les 7,5 YR, maximum vers 30-40 cm de profondeur (alors qu'elle est 5 YR et maximum vers 75 cm dans les sols du Goulbi N'Kaba)
- accessoirement, base du profil presque blanche, pouvant être interprétée comme un ancien niveau de nappe (voir sols brun rouge du Manga).

### 32-2 Propriétés analytiques (tableau 24)

#### ° Matière organique

Les taux superficiels sont les mêmes que dans le Goulbi N'Kaba mais la réduction d'épaisseur des horizons humifères entraîne une réduction de 13% du stock organique dans les premiers trente centimètres. La répartition moyenne est la suivante :

10 cm	: 0,22%
20 cm	: 0,18%
40 cm	: 0,13%
60 cm	: 0,10%

#### ° Texture

La granulométrie des sables est celle de la formation sableuse du Manga et celle des "petits ergs du Sud Ouest", à peine moins fine, pour le bassin de la Korama. Les taux d'argile et de limon sont très faibles, inférieurs à 5% pour tout le profil, et accusent un maximum dans l'horizon rougi.

#### ° Sesquioxydes

La variation des taux est parallèle à celle des taux d'éléments

#### ° Le complexe absorbant

Les faibles teneurs en colloïdes minéraux entraîne une grande pauvreté en bases en dépit d'une saturation plus élevée. Les pH sont plus élevés que ceux des ergs orientés mais restent inférieurs à 7 à l'exception des sols très jeunes des buttes ravivées. L'équilibre moyen des bases est le suivant :

### ° Fertilité chimique

Elle est très basse; les taux d'azote vont de 0,21 (sols sous restes de savane arborée) à 0,12% (sols sous prairies) et ceux de phosphore de 0,11 à 0,35%

### ° Propriétés physiques

Les perméabilités vont de 1 à 1,4 cm/h.

### ° Conclusions

Le fait marquant est la moindre richesse en matière organique, éléments fins, sesquioxydes, bases par rapport aux sols de la famille précédente dont ils conservent les types de répartition, aux profondeurs près.

## 32-3 Extension

Ces sols se forment entre les isohyètes 450 et 600 mm, en milieu plus humide que les sols de la famille sur ergs orientés. Leur présence est liée à celle de sables fins et pauvres à mise en place récente, ce qui est démontré par la forme de la surface à sols jeunes de la Korama qui s'insinue entre des sols évolués qui la limitent aussi bien au Nord qu'au Sud-Ouest. Leurs limites n'ont de valeurs climatiques qu'au sein des dépôts de la cuvette tchadine où elles sont néanmoins accompagnées de changements du modelé superficiel : pied de l'erg transversal de Guidimouni pour les sols brun rouge, limite de la plaine sableuse à alluvions de Malwa pour les sols ferrugineux, limite Est des ensablements du Mounio pour les sols subarides jeunes du Manga. Ce grand ensemble forme trois unités naturelles : ensablements du Sud du Mounio, cuvette ensablée entre Guidimouni et Malwa, bassin de la Korama.

## 32-4 Végétation

Elle est avant tout caractérisée par de grandes prairies de graminées vivaces, exclusives dans la cuvette centrale, parsemées de quelques *Acacia Raddiana*, *Poupartia Birrhoa*, dans le Mounio, montrant des restes de savane arborée à *Terminalia avicennoides* et *Prosopis africana* autour de la Korama. Ces prairies semblent dues à la pauvreté minérale des sols. Elles appartiennent au Nord de la Province Boréale des Forêts Claires et des Savanes boisées (savanes à Combrétacées).

### 32-5 Utilisation

Seuls les sols de la Korama portent quelques cultures de mil pennisetum et d'arachides avec jachères de très longues durées, mais la vie agricole s'y concentre surtout dans les bas fonds à sols hydromorphes et bruns à drainage réduit. Les cultures disparaissent devant les pâturages dans le désert humain du Sud de Guidimouni pour réapparaître sporadiquement aux abords du Mounio.

### 32-6 Cartographie

Nous avons distingué deux unités selon la nature des sols des dépressions. La première forme une auréole au Sud et à l'Ouest du Mounio; les sols bien drainés sont des types NB 22, 25, 29, relativement colorés à divers stades de rajeunissement; les sols mal drainés sont des dépôts pulvérulents calcaires à hydromorphie de nappe. La seconde va jusqu'aux sources de la Korama; les sols bien drainés sont les mêmes qui ci-dessus; ils s'y ajoutent les sols du bassin de la Korama, plus foncés, dont on peut fixer approximativement la limite Est à la rive gauche de la Korama entre Malwa et le Sud du Damagram (Djéré). Les sols mal drainés sont à hydromorphie de nappe variablement natronée sur matériau généralement sableux avec stades intermédiaires bruns.

### C3-3 LES SOLS FERRUGINEUX PEU EVOLUES SUR LES ENSABLEMENTS DES MASSIFS ROCHEUX

Dans le Sud du Mounio les sols sur ensablements montrent les mêmes horizons profonds que les sols subarides de la même famille mais avec des horizons de surface décolorés. Ils sont généralement érodés et les produits d'épandages, à sols peu évolués d'apport, très étenus. L'ensemble a été cartographié en association.

### C3-4 CONCLUSIONS

On a cartographié comme sols peu évolués d'apport bien drainés "intergrades" vers les sols ferrugineux peu lessivés des sols sur couverture sableuse à horizons profonds rougis mais dépourvus de différenciation structurale appréciable sur le terrain et à horizons supérieurs décolorés. Leur situation géographique est celle d'une zone de transition entre les domaines subarides et ferrugineux peu

lessivé. Leurs caractères morphologiques et leurs propriétés analytiques font également transition entre ces deux groupes.

L'unité de ces sols est faite par les horizons de surface nettement plus épais et clairs que ceux des sols subarides. Les horizons profonds sont en effet plutôt liés à la formation sableuse sur lesquels ils se forment : faiblement rougis et presque particuliers dans les sables fins de la cuvette tchadienne et du bassin de la Korama, nettement rougis, un peu plus cohérents, à raies dans les ergs les plus anciens, sans raies dans les ergs rajeunis. Il en résulte des correspondances entre les séries de sols brun rouge et ferrugineux peu évolués :

1°) la plus évidente est celle qui associe les sols brun rouge du Manga et les sols de l'Ouest du Mounio, qui présentent les mêmes degrés d'évolution ou de rajeunissement.

2°) également évidente est celle qui existe entre les sols brun rouge sur "ergs transversaux" de la région de GOURE et les sols ferrugineux sur cordons sableux également dépourvus de structure mais vivement rougis, à épaisseur inférieure à 2m.

3°) il y a moins d'homogénéité dans les sols plus différenciés en profondeur; en effet nous n'avons pas rencontré d'équivalent exact des brun rouge des "ergs réticulés", les sols ferrugineux jeunes du bassin du N'KABA étant moins rougis et structurés, mais possédant en commun avec les précédents des raies et une épaisseur souvent supérieure à 2m. La présence dans cette région de sols manifestement rajeunis (peu évolués et anthropiques) confirme la jeunesse et l'instabilité plus grande des séries du GOULBI NKABA.

On peut alors considérer comme climatique actuelle la limite qui sépare les sols sur formation sableuse fine de la cuvette tchadienne (400 à 500mm).

Les principales différences analytiques entre brun rouge et ferrugineux jeunes sont résumées ci-dessous :

TABLEAU 25

Propriétés analytiques	Formation Manga-Korama	Formation des ergs orientés.
C/N	Idem	II contre 8-9
augmentation du taux d'argile et de limon dans l'horizon rouge	(par rapport au matériel)	(par rapport au matériel)
	+2,5% contre 0	+ 3,5% contre 2-2,5
augmentation du taux de fer libre dans l'horizon rouge	(par rapport au matériel)	(par rapport au matériel)
	+0,15% contre 0,09%	+ 0,20% contre 0,12%
rapport fer libre/fer total en surface	60 contre 45	66 contre 60
" " dans l'horizon rouge	70 contre 55	76 contre 64
pH en surface	6,4 contre 7,0	6,1 contre 6,8-7,0

Le premier chiffre se rapportant aux sols ferrugineux, on voit que ces derniers sont plus acides en surface, que les sesquioxydes et les éléments fins y sont plus mobiles. Nous n'avons pas pu découvrir de différences vraiment sûres dans les taux et types de répartition de la matière organique; nous tenons simplement pour probable que les sols ferrugineux en renferment davantage de moins bien décomposée.

Au point de vue agricole et pastoral des sols forment trois ensembles:

- le bassin du Goulbi N'Kaba : la pluviométrie y est comprise entre 300 et 500 mm et y permet les cultures de mil, niébé, manioc doux, le sorgho et l'arachide n'étant possible que dans les dépressions; les terres sont pauvres en matière organique mais bien pourvues en phosphore; les sols de type cordon (Nord de Guezaoua et rives mêmes du Goulbi) sont à vocation pastorale.

- le bassin de la Korama : une pluviométrie plus forte, de 550 à 620mm, ne compense que partiellement une pauvreté minérale et organique plus élevée et une sensibilité plus grande à l'érosion éolienne. Les cultures d'arachide et de mil n'y sont possibles qu'avec de très longues jachères. En fait l'intérêt de cette région est dans la présence d'une nappe phréatique souvent douce à faible profondeur dans les interdunes (canne de bouche, manioc, riz, légumes).

L'Ouest du Mounio (450 à 525 mm) n'est actuellement qu'un vaste désert humain parcouru par quelques troupeaux, et cela à cause de la pauvreté et de la fragilité des sols.

#### IIC-4 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES EVOLUES

##### C4-I GENERALITES

Dans ces sols sur matériaux sableux une pluviométrie plus élevée favorise l'apparition des traits morphologiques liés à la mobilité de l'argile et des sesquioxides de fer :

- contraste entre les horizons supérieurs décolorés, non aggrégés, et les horizons profonds colorés et légèrement cimentés.

- accentuation des phénomènes de migration oblique dans les chaînes de sols aboutissant à la formation de profils très particuliers, les uns fortement enrichis, les autres appauvris en sesquioxides.

Ils se forment sur les mêmes formations sableuses que les sols subarides et ferrugineux peu évolués; en outre on leur a attribué les sols de la région BANDE-MATAMEYE qui forment la limite Est d'un vaste placage de sols rouges qui s'étend sur la frontière de Nigéria.

#### C4-2 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES SUR LA FORMATION SABLEUSE DES ERGS ORIENTES

##### 42-I Morphologie

Les profils des sols de cette petite famille ont fourni les types classiques du groupe. Le NA 28 ZINDER, ouvert 10 Km au Sud de Zinder à mi-pente d'une ancienne dune très aplaniée, sous une réserve arborée à *Faidherbia albida*, est un bon exemple de sol bien drainé :

Fissures fines tous les 30 cm jusqu'à I40 cm  
En surface sables déliés sur 3 à 4 cm  
Termitières rouge clair de I à I,5 m.

0 - 15 cm Jauné beige; homogène (cultivé); formé de sables éoliens assez fins bien calibrés avec quelques grains colorés rouge; structure à tendance feuilletée en surface, devenant massive à débit nuciforme se résolvant en grains; cohésion faible; bonne porosité d'assemblage d'aggrégats, nombreux trous d'insectes de 5mm; chevelu fin abondant.

Passe progressivement à :

I5- 30 cm Beige ocre non homogène : taches diffuses ocres et une dizaine de fines raies festonnées non continues, plus ocres que le fond; même texture, structure massive à débit plus anguleux, cohésion plus forte; raies plus cohérentes que la masse; porosité de même type plus grossière et plus développée enracinement de même type réduit.

Passe rapidement à :

30- 62 cm Ocre rouge non homogène : quelques raies peu nettes et de véritables ségrégations rougies très diffuses de 3 à 4 cm même texture; structure massive à tendance polyédrique, cohésion moyenne; quelques durcis aggrégats; porosité d'assemblage fine très développée; enracinement décroissant de même type.

Passe progressivement à :

62-I57 cm 5 YR 5,5/8; rouge clair uniforme, hormis quelques remplissages plus clairs; même texture; structure massive à débit à faces planes; cohésion légèrement moins forte; porosité de même type réduite; même enracinement.

Passe progressivement à :

I57-I95 cm Rouge à rouge jaune; même texture et structure, mais cohésion plus faible (est presque particulaire); porosité réduite.

I95-2I0 cm 5 YR 6/8; jaune rouge; même texture; structure massive se résolvant en grains; porosité plus faible, uniquement intergranulaire; de très grosses racines (arbres).

Addendum : les raies, concentrées par petits niveaux, disparaissent vers

Cette succession d'horizons peut être interprétée de la façon suivante

- de 0 à 30 cm ce sont des horizons éluviaux, décolorés et peu structurés; la partie supérieure forme la couche arable, masse de sables jaunâtres finement lités, lors de la redistribution pluviale qui suit le travail du sol, surmontée d'une couche de sables libres dont l'épaisseur locale est fonction de l'équilibre entre les actions érosives et la fixation;
- la partie inférieure est toujours un peu plus colorée, tout en restant claire; elle est plus riche en sesquioxydes mais plus pauvre en matière organique; elle est très légèrement aggrégée et possède une porosité généralement très forte, de type intersticiel; on y observe les premières raies du profil, toujours très fines.
- de 30 à 160 cm ce sont des horizons d'accumulation des éléments fins des sesquioxydes ainsi que d'individualisation de ces derniers; la partie supérieure est caractérisée par une répartition irrégulière de ces fractions mobiles se traduisant par la formation de taches diffuses d'une part et d'une structure à tendance polyédrique d'autre part; elle conserve le type de porosité de l'horizon précédent avec une taille et une abondance accrues; la partie inférieure, de beaucoup la plus épaisse, a une répartition homogène de l'argile et des éléments fins qui y ont leur concentration maximum s'accompagnant de la teinte la plus vive du profil; cette homogénéité s'accompagne d'une structure moins différenciée; la porosité est plus faible;
- de 160 à 210 cm, ce sont des horizons d'individualisation des sesquioxydes, où l'on observe une décroissance progressive vers la base de la différenciation structurale, de la cohésion, de la rubéfaction; s'accompagnant d'une diminution des taux des fractions mobiles; le dernier horizon décrit à la structure de sable tassé du matériau s'il n'en a pas la couleur; en effet la décoloration vers une teinte jaunâtre constante peut se poursuivre encore par transitions insensibles sur plus d'un mètre.

Ce profil classique peut être fortement modifié selon sa position topographique particulière ou celle du modelé, faisant vraisemblablement varier les conditions de drainage du sol et de mise en place ou de remaniement du matériau. C'est ainsi que les sols de sommet de dune ont souvent un aspect moins évolué, proche de celui des sols ferrugineux peu évolués du Goulbi N'Kaba déjà décrits;



ils sont moins rouges que les sols de pente et ne possèdent pas de structure aussi nettement développée au-dessus du maximum de couleur. Tel est le cas du NA 33, TIRMINI sol de sommet de dune longitudinale, portant une savane lâchement arborée à *Acacia Raddiana*, *Terminalia Avicennoides*, *Combretum glutinosum*.

0 - 25 cm IO YR 6/4; brun jaune clair, à lignes horizontales cendrées, et remplissages rougeâtres de canaux; sables éoliens avec quelques grains grossiers émoussés roses; structure devenant au-dessous massive avec débit à faces planes, cohésion un peu plus faible; très nombreux trous d'insectes ( $\varnothing$  5mm); porosité intergranulaire bonne; très fin chevelu abondant, très nombreuses radicelles verticales. Des fissures fines tous les 40-50 cm jusqu'à 200 cm.

25-40 cm 7,5 YR 6/4; brun ocre clair, parcouru de très nombreuses lignes gris rosé, sinueuses, subhorizontales, non continues, épaisses de 1mm environ, espacées de 1cm; même texture; structure massive, débit à faces planes légèrement plus irrégulières, cohésion faible à moyenne; porosité intergranulaire plus grossière; porosité tubulaire plus développée; cet horizon est le plus dur; pas de radicelles mais persistance du fin chevelu;

Passé progressivement à :

40-II0 cm 7,5 YR 6/6 (plus rouge); ocre jaunâtre, avec de très fines taches diffuses rougies; nombreuses raies rougies (rose violacé), sinueuses, non continues, jusqu'à 85 cm; elles n'offrent pas de cohésion différente de celle de l'horizon au-dessous de 85 cm on n'observe encore 2 ou 3 raies et des structures finement feuilletées, très minces, longues de 15 cm environ, obliques, de la même couleur rose violacée; structure massive, débit à faces planes; cohésion moyenne; porosité intergranulaire réduite, porosité tubulaire plus développée.

II0-I80cm 7,5 YR 6/8; jaune ocre; des remplissages de sables calcaires et de fines taches diffuses rouges; sableux; structure massive à débit à faces planes absolument non orienté; cohésion moyenne à faibles; porosité tubulaire fine assez marquée, mais plus compact que le reste du profil.

Inversement les sols de pente possèdent des horizons lessivés plus épais, des horizons d'accumulation plus colorés et structurés, et un développement souvent très important de raies, phénomène sur lequel nous revenons plus loin. Le NA 34 TIRMINI est situé environ 5m plus bas que le précédent :

- 0 - 17 cm 7,5 YR 6/4 (plus jaune); gris brun jaune; non homogène des lits et zones grisâtres (matière organique), de très fines lignes discontinues gris mauve; sables éoliens à grains grossiers colorés émoussés; structure massive; cohésion faible bonne porosité intergranulaire, localement plus grossière; très nombreux trous de 5mm; chevelu fin très dense; des radicelles verticales et horizontales.
- 17 - 50 cm 7,5 YR 6/4; gris brun ocre; des petites taches rouges très diffuses; nombreuses raies gris mauves à gris rouge se détachant sur le fond plus ocré; sont réticulées et possèdent une structure fine plus lâche, sableux; structure massive, débit à faces planes, peu régulières; cohésion moyenne; très forte porosité intergranulaire; bonne porosité tubulaire (moins du enrachement de même type réduit.
- 50-165 cm 5 YR 6,5/6 ocre pâle; des lignes gris rouges plus fines que dans l'horizon supérieur, et plus diffuses.  
Des raies ocre rouge, plus rouges vers la base (2,5 YR à 5YR 5/6), à bords diffus; épaisses de 5 à 10mm, écartées de moins de 10 cm, confluentes vers la base du profil assemblage des grains du squelette plus lâche dans le corps des raies nombreux canaux d'insectes; la face supérieure est légèrement cimentée par un enduit argileux, précédée par un ou deux films argileux.  
Horizon plus coloré vers la base.  
Même texture; structure massive, à débit à faces planes plus anguleuses au niveau des raies, d'ailleurs de plus en plus durcies vers la base du profil; porosité tubulaire moyenne; encore quelques radicelles.
- 165-230 cm C 48, puis 5 YR 5/8 vers 230 cm; humide rouge jaune à grosses taches rouges (plus argileuses) diffuses; formées par confluence des raies ci-dessus; sableux à sablo-argi leux; structure massive à tendance polyédrique (2 à 3cm); cohésion moyenne, localement forte; très nettement dur- ci; porosité d'assemblage lâche localement développée dans les rouges; moins fortes dans des noyaux clairs plus compacts et des cohésion forte disparition des radicelles.
- Vers 250 cm Jaune rouge, texture plus sableuse
- Vers 325 cm 5 YR 5,5/8; jaune rouge; sables comparables à ceux de la base du profil NA 33.

Ici les horizons franchement lessivés font 50 cm d'épaisseur, la zone structurée des horizons d'accumulation 180 cm, la zone d'individualisation se poursuit encore sur 95 cm. Cet accroissement du profil est habituellement attribué à l'augmentation de volume des solutions percolant dans le sol et reçues des points hauts par ruissellement et circulation oblique.

Dans les sites les plus bas non hydromorphes on observe à la fois un fort développement des horizons décolorés et l'assombriement des horizons d'accumulation qui déterminent deux types principaux de profils. Le premier fait partie des "sols bruns à drainage réduit" décrits précédemment (paragraphe IB42) tel le NA 29 DOGO :

- Sables déliés beige clair en surface
- 0 - 22 cm IO YR 6/4; beige avec de rares taches diffuses ocres, verticales; structure feuilletée sur 3 à 4 cm; puis massive à débit à faces planes non orientées; texture sableuse, moyenne, avec quelques grains de I à I,5 mm anguleux, clairs; bonne porosité intergranulaire; cohésion faible; des canaux d'insectes; chevelu fin abondant.
- 22 - 38 cm IO YR 5,5/3,5; brun ocre foncé assez homogène avec quelques remplissages de sables clairs, parfois auréolés d'ocre; pas de raies; même structure, débit légèrement polyédrique; cohésion à peine plus forte; porosité un peu plus grossière enracinement décroissant.
- 38 - I05 cm 7,5 YR 4,5/4; brun ocre (horizon le plus rougi); homogène quelques remplissages mis à part, ainsi qu'une raie légèrement plus ocre; structure massive, débit à faces planes, cohésion moyenne
- I05 - I60 cm Ocre brun clair; fond brun clair à marbrures ocre clair diffuses et à raies légèrement rougies, discontinues (épaisseur moins de 5mm, écartement 10 cm); même texture structure massive, débit à faces planes; cohésion moyenne; porosité d'assemblage de grains très fine mais réduite; quelques pores tubulaires fins.
- I60- 200 cm 7,5 YR 6,5/6; ocre très clair : fond brun très clair à marbrures plus ocres diffuses.
- Au sommet une raie de 1 cm plus ocre et légèrement plus cohérente, suivie de 6 raies espacées de 6cm.  
Même texture; structure massive, débit à faces planes, cohésion légèrement plus faible; porosité intergranulaire réduite.

Une particularité remarquable de ce profil est de posséder des raies, concentrant les fractions fines et les sesquioxides, prolongeant en profondeur l'horizon d'accumulation proprement dit. Dans le second type de sol ce dernier est réduit à une succession de raies; les horizons lessivés atteignent un développement maximum (60 cm) et l'ensemble du profil est d'une teinte grise assez claire, due à la concentration du fer et de l'argile dans les seules raies. Le profil NA 23 MYRIA a été observé sous une savane arborée dégradée à *Acacia pubescens*, *Faidherbia albida*, *Bauhinia reticulata*;

Sables déliés en surface

- 0 - 25 cm IO YR 6/3; brun grisâtre avec un réseau de lignes plus claires très fines (moins de 1mm), pouvant être les parois de petits pores; sables éoliens moyens à petits grains noirs; structure massive à débit à faces planes ou peu anguleuses; cohésion moyenne à faible; parfois structure particulaire porosité moyennement développée avec de petits pores et de très nombreux trous d'insectes; enracinement fin et dense.
- 25 - 55 cm IO YR 5,5/3; brun ocre; horizon le plus brun du profil de très fines ségrégations ocres diffuses; un réseau de tubes (1mm sur I à 2cm) à l'intérieur gris rosé légèrement auréolé d'ocre; texture sableuse avec quelques gros quartz anguleux (1mm); structure massive, débit à faces légèrement mamelonnées; cohésion moyenne; porosité par assemblage d'aggrégats moyennement développée; enracinement très fin légèrement réduit.
- 55 - 85 cm IO YR 5,5/4; ocre brun rouille (7,5 YR 5/4; ces lignes sont festonnées, légèrement obliques, plus poreuses et cohérentes que la masse, dont elle sont séparées par un cerne ocre; l'épaisseur moyenne est de 1cm; on les trouve à IO1, II2, I30, I42, I62.  
Structure massive à débit à faces mamelonnées les zones mieux aggrégées correspondant aux mouchetures; cohésion moyenne; même porosité que ci-dessus : réduction progressive de l'enracinement.
- 85- I20 cm IO YR 6/4; beige ocre à nombreuses mouchetures plus claires, ocres diffuses; nombreuses lignes gris ocre au sommet, ocres et diffuses à la base; même texture structure massive; débit à faces très légèrement mamelonnées; cohésion réduite; porosité plus faible.
- I20 -200 cm IO YR 7/4; beige jaunâtre à lignes plus épaisses et plus ocre dont les limites surtout la limite inférieure, deviennent diffuses; même texture; plus compact, conservant néanmoins une porosité appréciable.

On peut considérer que le second type est une accentuation du précédent. Ils s'observent parfois, mais non obligatoirement, en bas de chaîne et plus souvent encore sur de vastes surfaces qu'ils couvrent entièrement, telles que l'erg de GANKIO, à sols gris, à l'Est de Zinder, et le panneau ensablé situé à l'Ouest de GOUNA à sols bruns, tous deux situés sur d'anciennes dépressions. Cependant, on ne connaît pas d'agent physique responsable de ce type d'évolution sur de telles étendues car ces modelés abondent en sites bien drainés et sont dépourvus de nappe d'engorgement; il est cependant vraisemblablement lié à un type de circulation des solutions du sol.

Les dépressions interdunaires de l'erg ancien joignant les régions Nord de Zinder et de Takiéta sont occupées par des sols très fortement colorés et montrant une grande constance de leurs propriétés morphologiques et analytiques; le type en est le NA 24 BAKIMARAM.

- 0 - 5 cm Sous des sables déliés quartzeux; assez grossiers, parfois visiblement triés, anguleux; Brun jaune clair, sables éoliens comparables à ceux du profil N°24, structure massive à tendance feuilletée, porosité d'assemblage d'aggrégats bonne.
- 5 -25 cm 7,5 YR 5/4; brun rouge pâle; des ségrégations diffuses ocres et des remplissages clairs, sableux; structure massive, débit à faces planes; cohésion moyenne; porosité en général fine, médiocrement développée; surtout la porosité entre aggrégats; peu de racines.
- 25 -80 cm 5 YR 4,5/4 brun rouge foncé; texture sableuse d'une part plus riche en éléments fins, d'autre part à nombreux grains de quartz émoussés pouvant atteindre 3mm; structure massive à débit peu anguleux; cohésion moyenne; porosité dans l'ensemble très fine et bien développée, la porosité d'assemblage des aggrégats étant moyennement développée.
- 80 -140cm 5 YR 4/6 brun rouge foncé, horizon le plus rouge et le plus foncé; quelques taches diffuses plus rouges; structure massive à débit plus anguleux; cohésion légèrement plus forte avec noyaux faiblement durcis; porosité plus grossière, la porosité d'assemblage étant localement développée.

I40 - I90cm 7,5 YR 5/6 (plus rouge); brun jaune rouge; des ségrégations diffuses et des remplissages clairs; même texture structure massive à débit à faces planes; cohésion moyenne; porosité surtout tubulaire, fine à moyenne; porosité d'assemblage dans de gros canaux; zone d'activité micro-biologique maximum.

I90 - 2I0cm de 7,5 YR 5/6 à 6/6, jaune brun; des ségrégations brune à noyaux légèrement durcis, des remplissages de sables clairs venus de la profondeur; même texture; structure massive; cohésion faible zone de compacité maximum.

Ce profil possède bien les variations de couleur et de structure d'un sol ferrugineux peu lessivé, sa particularité la plus remarquable est la teinte rouge foncé de l'ensemble du profil, due à une teneur en fer libre quatre fois plus élevée que dans les autres sols de cette famille; en outre il ne possède ni les raies, ni les horizons lessivés épais des sols de bas de pente. L'interprétation la plus vraisemblable de ces sols consiste à en faire des lieux d'accumulation des sesquioxides provenant par lessivage oblique des sols de cotes plus élevées; mais il n'est pas exclu qu'ils forment la partie la plus ancienne des chaînes actuellement visibles, ce que suggère leur ressemblance avec les sols rouges méridionaux (BANDE), et leur localisation étroite.

A ces variations résultant de la topographie s'ajoutent des variations dues à de légères modifications du taux d'éléments fins et de sesquioxides du matériau coïncidant avec la proximité de la nappe sableuse et des roches sous-jacentes: grés argileux, granites alcalins, roches métamorphiques, qui seront traitées séparément.

En résumé, on observe, en suivant de haute en bas une chaîne de sols ferrugineux peu lessivés, des profils de teinte de plus en plus sombre, des horizons lessivés de plus en plus épais, une substitution de plus en plus grande des raies aux horizons d'accumulation, évolution traduisant une exportation de plus en plus poussée des éléments fins et des sesquioxides de la chaîne; ces derniers peuvent se concentrer localement et de façon diffuse dans des profils particuliers. Nous n'avons pas observé des ségrégations de sesquioxides dans ces sols sableux épais, en dehors de taches diffuses homochromes à l'horizon les refermant et d'aggrégats durcis dans les horizons illuviaux. Comme dans tous les modelés d'ergs orientés les sols des parties hautes semblent souvent plus "jeunes" que les sols de pente ou d'interdunes.

42-2 Propriétés analytiques des sols à drainage normal (TABLEAU 26)

## ° Matière organique

Les taux sont bas et leur décroissance dans le profil très régulière; il est fort probable que ce bas niveau organique est dû à la culture avec jachères courtes ou nulles de ces sols. Les répartitions sont les suivantes :

	Sol moyen	Sol appauvri
- à 10 cm.....	0,22%	0,16%
- à 20 cm.....	0,19%	0,15%
- à 40 cm.....	0,16%	0,135%
- à 60 cm.....	0,14%	0,13%
- à 100cm .....	0,12%	0,11%
- à 200 cm.....	0,05%	0,0(%)

Quelques profils montrent une discontinuité de répartition à une profondeur comprise entre 25 et 50 cm, correspondant à la base des horizons lessivés. Le premier horizon, très peu structuré, est toujours le plus humifère; son épaisseur varie de 11 à 26 cm, elle est de 16 cm en moyenne.

Les C/N restent bas et leur décroissance vers la profondeur est toujours irrégulière.

## ° Texture

La granulométrie des sables est celle des "petits ergs du Sud-Ouest"; les modes sont compris entre 0,226 et 0,254 mm, correspondant à 51% et 54% de sables grossiers par rapport aux sables totaux, à l'exception de sables de sommets de dunes, parfois plus fins : mode de 0,18mm et 30% de sables grossiers. Elle varie légèrement et irrégulièrement dans le profil, avec une amplitude de 2 à 17% en valeur absolue pour le taux de sables grossiers, et de 0,006 à 0,050mm pour le mode. En particulier le taux de sables grossiers de l'horizon de surface ne présente pas de différence systématique avec celui des horizons plus profonds, en dépit des traces évidentes de remaniements superficiels : sables déliés, litage. Il est probable que leur effet sur la granulométrie, faible (voir texture des sols peu évolués (paragraphe II C3I2), est masqué par les variations acquises dès la mise en place du matériau.

## PROPRIETES ANALYTIQUES DES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES EVOLUES

DONNEES ANALYTIQUES	ERGS ORIENTES			BANDE		MALWA	
	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
<u>Matière organique %</u>							
en surface (0-10cm)	0,31	0,16	0,22	0,40	0,25	0,27	0,23
vers 30cm	0,21	0,125	0,175	0,27	0,20	0,18	0,15
<u>C/N</u>							
en surface	14	8	10,5	15	10	12	11
<u>Argile + Limon %</u>							
en surface	3,5	1,8	2,5	6,5	1,5	3,0	1,5
horizon d'accumulation	9,8	3,7	6,6	12,5	7,0	5,0	1,7
Matériau	4,5	1,7	X		5,7		
<u>Fer libre %</u>							
en surface	0,30	0,20	0,25	0,55	0,33	0,33	0,22
horizon d'accumulation	0,64	0,25	0,44	1,09	0,62	0,60	0,24
matériau		0,16	X		0,34		
<u>Fer libre/Fer total %</u>							
en surface	77	51	65	73	66	63	46
horizon d'accumulation	81	57	66	81	70	77	62
matériau	65	48	52		48		
<u>pH</u>							
en surface	6,1	5,4	5,8	6,4	6,2	6,4	6,3
horizon d'accumulation	6,6	5,1	5,9	6,3	5,4	6,3	
matériau	6,2	5,4	5,8				
<u>Somme des bases échangeables</u> <u>még/100 g.</u>							
en surface	1,4	0,9	1,1	1,5	1,0	2,0	1,4
horizon d'accumulation	3,3	0,9	1,7	1,6	1,5	2,5	1,5
matériau	1,9	1,1	1,5				
<u>Coefficient de saturation %</u>							
en surface	46	30	44	100	100	100	67
horizon d'accumulation	48	31	41	96	77	93	80
matériau	57	51	54				
<u>Equilibre des bases</u> (dans tout le profil)							
Ca + Mg/Na + K			6,5 & 8		11		12
Ca/Mg			4 & 2		3		3,5
K/Na			0,9		0,35		0,9

NOTES : ces résultats ne concernent que des profils bien drainés; dans les chiffres d'équilibre des bases, le premier est celui de l'horizon de surface (ergs orientés); les chiffres non alignés dans une colonne sont la moyenne d'un trop petit nombre de résultats.



Le taux d'argile et de limon est inférieur à 10%. Le minimum a lieu en surface où l'on admet généralement qu'il est accentué par l'érosion et plus encore par l'effet de la culture de l'arachide; dans les sols les soins épais et évolués (type NA 33 TIRMINI) le maximum a lieu simultanément dans les deux horizons illuviaux, morphologiquement peu distincts; dans les sols les plus différenciés il se produit dans le second, le plus rouge et homogène. La variation du taux d'éléments fins dans le profil ne peut s'interpréter uniquement en fonction d'un lessivage vertical et de l'épaisseur actuelle des horizons de surface; en effet le calcul montre que la quantité accumulée est de beaucoup supérieure à la quantité lessivée; trois hypothèses peuvent l'expliquer (voir II C 3I2)

- les horizons lessivés sont érodés.
- dans quelques cas le profil reçoit des apports par lessivage oblique.
- une légère altération des minéraux du matériau provoque l'augmentation du taux d'éléments fins (et de sesquioxydes).

#### ° Sesquioxydes

Leur variation est la même que celle des éléments fins. L'augmentation du taux de fer libre par rapport au matériau est de l'ordre de 50 à 60%. Le minimum du rapport fer libre/fer total dans le profil est dans l'horizon de surface, en moyenne, le maximum peut être atteint dès le second horizon lessivé, à forte porosité. Ce rapport diminue ensuite dans le matériau. Ses valeurs sont les mêmes que celles des sols ferrugineux peu évolués.

#### ° Le complexe absorbant

L'ensemble du profil est très fortement désaturé, et franchement acide. Les coefficients de saturation et les pH les plus bas sont ceux du second horizon lessivé. Les taux des bases échangeables sont faibles. L'équilibre relatif des bases est le suivant, en moyenne et pour l'horizon de surface :

Ca=10 Mg = 2,5 K = 0,9 Na = 1

Le reste du profil est deux fois plus riche en magnésium :

Ca=10 Mg = 5 K = 0,9 Na = 1

#### ° Fertilité chimique

Elle est basse à moyenne, les taux d'azote étant compris entre 0,12 et 0,25‰, et de phosphore total entre 0,22 et 0,54‰.

### ° Propriétés physiques

La présence d'aggrégats dans les horizons illuviaux est démontrée par le test de perméabilité; on obtient en effet en moyenne 0,9 cm/h pour les horizons de surface, perméabilité de sables libres, et environ 2cm/h pour les horizons d'accumulation. Ces aggrégats sont fragiles; en effet les tamisages sous l'eau (test de stabilité structurale) les détruisent entièrement, libérant l'argile et le limon qu'ils peuvent renfermer, si bien que l'instabilité structurale croît vers la profondeur; mais ce fait ne traduit pas une fragilité supérieure, mais une plus grande richesse en éléments fins. L'expérience montre, au contraire, que les horizons profonds résistent plus longtemps à l'érosion en nappe.

### ° Conclusions

Les analyses confirment l'opposition morphologique entre horizons de surface, décolorés et peu structurés, et horizons de profondeur, colorés et légèrement aggrégés, et rend vraisemblable leur interprétation comme horizons lessivés et illuviaux, à l'érosion des horizons superficiels près. Les types de répartition de la matière organique, des éléments fins, des sesquioxydes, sont les mêmes que ceux des sols ferrugineux peu évolués, aux profondeurs des horizons près :

TABLEAU 27

PROFONDEUR DE LA ZONE LA PLUS ROUGIE DANS LES SOLS FERRUGINEUX SUR ERGS ORIENTES

CLASSES DE PROFONDEUR	SOLS FERRUGINEUX	SOLS FERRUGINEUX PEU EVOLUES
50 - 70 cm	0	30%
70 - 90 cm	40%	60%
90 -110 cm	40%	10%
110-170 cm	20%	0
moyenne des profondeurs	105 cm	73 cm

Ils sont beaucoup plus acides et désaturés.

Leur potentiel chimique est légèrement inférieur à celui des sols peu évolués, surtout pour les bases échangeables. Leur faible richesse en matière organique a encore été amoindrie par des cultures plus répétées et appauvrissant.

### 42-3 Propriétés analytiques des sols à drainage réduit ou oblique

Dans l'étude des "sols bruns à drainage réduit des chaînes de sols ferrugineux peu lessivés" (IB 42), nous avons remarqué que les différences analytiques entre les sols de zones basses et sols bien drainés étaient d'autant moins marquées que le climat était plus humide. De fait, et tout particulièrement pour cette famille, il y a peu de différences entre sols à horizons d'accumulation rouge (bien drainés) et sols gris ou bruns à raies (drainage particulier). Les pH et les coefficients de saturation surtout de ces derniers sont cependant plus élevés :

pH	: 5,9 à 6,6	en surface	6,2-6,4	dans les horizons d'accumulation
saturation	90	" "	90	" "

Dans les horizons à raies, la matière organique, les éléments fins, les sesquioxydes, se concentrent inégalement. Les analyses de NA 23 M'RIA montrent que la composition d'une raie profonde (180 cm) est très voisine de celle du deuxième horizon du profil (25 à 55 cm); et en même temps éloignée de celle de la masse décolorée environnante. La granulométrie des sables en est également plus grossière. Il semble donc bien que dans ce profil les raies se forment par accumulation de substances migrant des horizons supérieurs en des zones à porosité primitivement plus forte.

### 42-4 Propriétés analytiques des sols ferrugineux à accumulation diffuse de sesquioxydes.

Les sols ferrugineux rouges des interdunes situés au Nord de Zinder se distinguent par une très grande richesse en sesquioxydes. Ils renferment 0,8 à 1,1% de fer libre en surface, 1,8 à 2,2 dans les horizons d'accumulation, chiffres respectivement égaux à environ 3,5 et 4,5 fois ceux des sols normaux. Les rapports fer libre sur Fer total sont très élevés et compris entre 70 et 90%. Les taux d'éléments fins sont de 4-7% en surface, 12-16% dans les horizons d'accumulation; l'augmentation par rapport aux sols normaux est plus faible et de l'ordre de 120%. Le rapport fer libre sur éléments fins est très élevé, de l'ordre de 0,3, alors qu'il est habituellement de 0,12.

Les pH et coefficients de saturation sont ceux des sols gris et bruns, ce qui est conforme à leur situation topographique, les premiers sont compris entre 6,1 et 6,7 et les seconds entre 80 et 100%. La richesse en bases est appréciable : 1,5 à 3 méq, en surface, 2 à 4 méq en profondeur.

La répartition de la matière dans le profil est du type habituel.

La perméabilité des horizons les plus riches en fer libre est élevée (3 cm/h), mais la quantité d'aggrégats stables à l'eau reste négligeable. Il n'y a donc pas d'effet de cimentation très sensible de la part des sesquioxides.

#### 42-5 Extension

Ces sols se forment sous des pluviométries comprises entre 450 mm et 575 mm; le premier chiffre a seul une valeur climatique, car il représente la limite entre sols ferrugineux évolués et jeunes sur le même matériau, celui des ergs orientés; le second coïncide simplement avec la pluviométrie de la limite Nord des sables plus récents du bassin de la Korama.

La végétation appartient à la Province Boréale des Forêts Claires et des Savanes Boisées; elle est formée de savanes arborées dégradées à Combretacées (*Combretum glutinosum* et *Terminalia Avicennoides*), souvent remplacées dans la région de Zinder par de beaux parcs à *Faidherbia albida*.

Au Nord de Zinder une première bande NE-SW de sols ferrugineux peu lessivés se développe sur un modelé à trains dunaires transversaux très reconnaissables encadrés par des cordons longitudinaux à sols peu évolués; quelques interdunes sont occupés par les sols à accumulation diffuse; la couverture sableuse est cependant discontinue et laisse apparaître les grès continentaux. Au Sud la couverture est continue, le modelé très effacé, mais nettement groupé en panneaux de même orientation; les sols bruns et gris sont fréquents, les sols peu évolués absents. La limite Est est formée par les sols sur matériaux complexes du DAMAGARAN, la limite Nord par les sols jeunes du Goulbi N'Kaba, la limite Sud par le bassin de la Korama; la limite Ouest est en dehors de la carte, vers Tessaoua, où apparaissent les sols ferrugineux rouges des sables de Maradi.

#### 42-6 Utilisation

Les sols ferrugineux peu lessivés de cette famille sont les terres à arachides les plus communes. Les meilleures sont formées par les sols de type brun plutôt que par les sols bien drainés, à horizons d'accumulation rouge; les moins bonnes sont les sols moins évolués de certains sommets de dunes (type NA 33 TIRMINI). Régionalement, la zone la plus favorable est située au Sud de Zinder, entre Gouna et Droum, où les sols bruns et gris abondent; le secteur le moins bon est situé au Nord de Zinder, où la pluviométrie est moins forte, les sols plus ou moins jeunes fréquents.

Il est évident que, au sein de cette famille, le facteur principal de la fertilité est la pluviométrie ou, plus précisément, le régime hydrique des sols, puisque les meilleurs sont situés en bas de pente ou sur des replats et dans les régions méridionales, et les moins bons sur les sommets (sols jeunes) et vers le Nord, alors que le potentiel chimique, par ailleurs peu variable, classe les sols de façon inverse, les sols peu évolués étant très légèrement plus riches en bases et matière organique. La désaturation des profils évolués est un fait de pédogenèse sur lequel on ne peut rien, mais leur bas niveau organique, coïncidant avec une décroissance très lente des taux vers la profondeur, est vraisemblablement une conséquence du régime agronomique actuel, où la fumure organique n'est jamais abondante ni systématique.

Les sols évolués de cette famille, et tout particulièrement ceux qui sont situés au Sud de Zinder, sont très voisins des sols étudiés à la station agronomique (CRA) de BAMBEY (SENEGAL) sous les noms locaux de sols "diors", pour les sols bien drainés, et de sols "deks" pour les sols bruns et gris; c'est donc principalement à cette région que peuvent être extrapolées les méthodes de culture qui y sont définies dans cette partie du Sénégal.

#### 42-7 Cartographie

Au Nord de Zinder a été représentée une association de ces sols avec les sols hydromorphes sur grés argileux; au Sud de Zinder ils figurent exclusivement dans une unité d'un grand intérêt économique.

C4-3 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES SUR MELANGE DE SABLES ÉOLIENS ET DE MATÉRIAUX ISSUS DES GRÈS ARGILEUX.

43-I Morphologie

Les profils décrits ci-dessous ont été observés près de TIRMINI sur un versant ensablé, à pente très sensible, de l'ordre de 3%, établi sur grès; la végétation est une jachère arbustive à *Guiera sénégaleensis* parsemée de quelques arbres mis en réserve : *Faidherbia albida*, *Boscia salicifolia*, *Dispyros mespiliformis*. En haut de pente on observe le profil suivant (NA 9 TIRMINI) :

en surface une fine croûte sous des sables déliés.

- 0-15 cm Beige ocre clair; texture sableuse : mélange de sables éoliens et de gros quartz; structure massive à tendance feuilletée sur les 5 premiers centimètres, puis massive à débit subanguleux; cohésion moyenne; à peine aggrégé; quelques pores tubulaires de 1mm; racines fines et abondantes.
- 15-32 cm 5 YR 5,5/4 beige ocre, riche en mouchetures blanchâtres, formées par les enduits décolorés et pulvérulents de pores sableux, plus riche en sables grossiers; massif, débit à tendance polyédrique; cohésion moyenne localement forte; porosité d'assemblage d'aggrégats très fins très élevée; nettement riche en fines racines.  
Transition rapide
- 32-87 cm 5 YR 5,5/8 ocre, assez homogène; même texture; structure massive, débit à tendance polyédrique plus large; structure fine et poreuse due à l'assemblage de petits aggrégats inégalement développée; cohésion moyenne, mais présence d'aggrégats plus fermes de 5mm; porosité de même type mais moins forte; un peu plus riche en pores et canaux d'insectes; enracinement moyen.  
Transition très progressive.
- 87-135 cm 7,5 YR 6/8; jaune ocre à marbrures ocres; sablo-argileux; structure massive, débit à tendance polyédrique; cohésion en général moyenne, mais très inégale, avec présence de zones très poreuses à cohésion faible et de noyaux compacts à cohésion forte ou très forte.
- 135-145 cm Jaune ocre à marbrures plus claires; sablo-argileux à sables légèrement plus grossiers; structure à tendance polyédrique, plus large, à noyaux durcis plus abondants et gros; cohésion faible et hétérogène; encore quelques racines.  
- Quelques mouchetures rouges très fines.

En bas de pente la chaîne s'achève par la coupe ci-dessous (NA IO TIRMINI) :

En surface croûte et sables grossiers colorés.

- 0 - 8 cm 7,5 YR 5,5/4 brun gris, avec quelques lignes horizontales plus brunes; sableux finement; structure massive, à peine feuilletée sous la croûte, débit régulier; non aggrégé; tassé et compact; nombreuses radicelles très ramifiées.
- 8 - 20cm 7,5 YR 5,5/4; brun ocré; des taches très diffuses ocre rougâtre et des mouchetures blanches dans l'anciens canaux; saupoudrage de sables fins blancs dans quelques fissures; sableux; structure massive à nette tendance polyédrique; structure fine localement très développée conférant une très bonne porosité à l'ensemble de cet horizon; cohésion forte avec petits noyaux durcis (3-4mm); radicelles rares en dehors des fissures.
- 20- 60cm 5 YR 5,5/6; ocre à plages ocre rouge; sablo-argileux; structure à tendance polyédrique de 3-4cm; structure fine formée de l'assemblage assez lâche d'aggrégats fragiles localement développée; cohésion irrégulière, très forte pour des noyaux durcis.
- 60- 70cm 5 YR 5/6; ocre jaune; des plages grises et des taches brunes auréolées d'ocre ou ocre jaune, à peine individualisées; sablo-argileux; est le plus riche en sables grossiers; structure polyédrique très irrégulière de 2-3cm; des noyaux faiblement indurés; des concrétions tendres ferrugineuses ocre rouille sans cortex ( $\varnothing$  1cm); de nombreux pores de 2-3mm.
- 70-78 cm 5 YR 5/8; niveau de graviers de 0,5 à 3 cm riche en concrétions non jointives :
- concrétions tubulaires à cassure noire, lumière centrale, cortex brun rouille.
  - concrétions rondes mamelonnées noires à cortex brun.
- 78 cm graviers quartzeux, à revêtements d'hydroxydes, et grosses concrétions ferrugineuses, emballés dans une masse argileuse renfermant en outre des galets de quartz éolisés; les concrétions sont brun clair à brun ocre au centre, brunes à la périphérie, à cortex brun foncé enchassant de petits quartz.

La surface qui supporte la couverture sableuse est taillée dans les grès, dont on observe quelques blocs ferruginisés dans des coupes voisines, et coiffée d'une nappe graveleuse où se sont concentré les éléments grossiers de la roche (graviers et galets éolisés) et qui a été le siège d'un concrétionnement ancien décrit en NA IO 78 ...cm, et que nous avons évoqué à propos des paléosols ferrugineux (II B24). Après érosion de la couverture pédologique ancienne elle a été ensablée, non sans que les sables éoliens ne s'enrichissent à son contact à la fois en sables grossiers (grains de quartz colorés) et en éléments fins. La caractéristique essentielle de ces sols est en effet de posséder des horizons profonds notablement plus argileux que ceux des sols sur ergs orientés; la conséquence en est l'apparition dans les profils de niveaux très nettement structurés (structure fragmentaire de NA IO 60-70cm) et dans la chaîne l'accentuation des phénomènes de ségrégation des sesquioxides. Ces derniers se manifestent sous deux aspects :

- noyaux faiblement indurés présents dès la base des horizons lessivés mais surtout abondant dans les horizons d'accumulation.

- taches rouges ou ocre envahissant progressivement le profil à partir du sommet de la nappe graveleuse au fur et à mesure que l'on descend la chaîne.

- concrétionnement ferro-manganésifère, très foncé, d'aspect le plus souvent tubulaire, se développant au contact de la nappe graveleuse, donnant parfois en bas de pente des blocs cuirassés; ce concrétionnement n'est pas spécifique de ces sols mais plutôt d'une situation particulièrement favorable de la couverture sableuse, au contact d'un niveau imperméable favorisant la circulation oblique des eaux de drainage (cf IIB2I).

Ces profils possèdent également des horizons lessivés extrêmement poreux, caractéristique qui les rapproche des sols ferrugineux lessivés; mais la fragilité de la structure explique la formation, sous l'action de l'érosion en nappe et d'un léger engorgement temporaire, d'un niveau superficiel très compact (NA IO 0-8cm). On notera également sur le profil NA 9 que le maximum de la rubéfaction est situé à la base de l'horizon lessivé et non dans les horizons d'accumulation.



### 43-2 Propriétés analytiques

Les taux et la répartition de la matière organique sont les mêmes que dans les chaînes de sols sur ergs orientés.

Les taux d'argile et de limon atteignent 4-10% en surface et 17-30% en profondeur; la granulométrie des sables est peu influencée par l'apport de sables grossiers, individuellement très visibles, et reste celle des ergs orientés; ceux de la chaîne 9-10 sont comparables à ceux, assez fins, de certains sommets de dune (mode de 0,193mm).

Les sesquioxydes sont abondants : 0,45-0,65% de fer libre en surface, 1,1-1,85% en profondeur, les derniers chiffres se rapportant aux sols de bas de pente où le lessivage oblique accumule les sesquioxydes.

Les coefficients de saturation sont assez élevés (70-90%), avec deux légers maxima dans l'horizon supérieur (le plus humifère) et au contact des grès; ces coefficients sont ceux de sols à drainage vertical non prépondérant ou réduit, ce que confirme l'aspect des ségrégations, la teinte généralement foncée des profils. En dépit de cela, et bien que les taux d'argile soit assez fort, ces sols ne sont pas plus riches en bases échangeables que les sols sur sables purs : 1,1-1,4 méq en surface, 2-2,8 méq. en profondeur; la faible capacité d'échange des argiles en est responsable (20 méq/100g). L'équilibre des bases montre une plus grande richesse en magnésium et sodium :

$$\text{Ca} = 3,5 \quad \text{Mg} = 3,0 \quad \text{K} = 0,5 \quad \text{Na} = 1,0$$

Les taux d'azote sont compris entre 0,17 et 0,20‰ et de phosphore entre 0,4 et 0,5‰; la fertilité chimique reste basse.

### 43-3 Extension et Cartographie

Ces sols ne couvrent que de très petites surfaces, leur existence dépendant d'un hasard de la mise en place de la couverture sableuse sur un versant à faible pente sur grès. On les observe surtout à l'Ouest de Zinder aux bas de glacis dominés de buttes témoins gréseuses ou protégés par des chaos granitiques (Tirmini) et s'achevant dans les zones basses à sols hydromorphes à caractères ferrugineux lessivés hérités. Ils n'ont pu être dessinés séparément des sols ferrugineux peu lessivés sur sables d'ergs orientés.

43-4 Utilisation

La tendance au tassement superficiel de ces sols y rend plus difficile la culture de l'arachide; par contre la culture du sorgho y est favorisée par la texture plus lourde des horizons profonds.

43-5 Conclusions

L'aspect et les propriétés de ces sols découlent de leur situation topographique et du matériau. Situés en bas de glacis, ils ont les teintes, les coefficients de saturation des sols ferrugineux peu lessivés "bruns". Plus riches en argile à basse capacité et en sesquioxydes, ils possèdent en horizons d'accumulation plus structurés et présentent des phénomènes de ségrégation ferrugineuse importants et accentués par le lessivage oblique.

C4-4 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES SUR MELANGE DE SABLES EOLIENS ET DE MATERIAUX ISSUS DES GRANITES ALCALINS DE ZINDER.

44I Morphologie

Le profil NA 32 ZINDER a été observé à la sortie Ouest de cette ville, sur un très court versant à pente de 3% parsemé de boules granitiques (granites alcalins à riebeckite), sous une savane arborée très dégradée à *Faidherbia albida*, *Zizyphus sucronata*, avec jachères à *Callotropis procéra*.

Ier FACE

Sables déliés en surface.

0 - 8 cm 5 YR 5,5/8; D 43 à 54; brun ocre, homogène; texture sableuse grains fins éoliens et quartz anguleux (jusqu'à 5 mm); structure à tendance cubique irrégulière (5cm); cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire bonne; gros pores assez nombreux.

Passe en 3 cm à :

- 8 - 33 cm 5 YR 5/6; D 44; brun ocre, non homogène; points rouges de 3-4mm, taches diffuses ocrées, très fines et ramifiées, très petites masses sableuses décolorées,
- 8 - 45 cm lignes surtout entre 20 et 33 cm, rougies; même texture; structure plus massive à débit plus anguleux; cohésion moyenne, parfois forte, porosité intergranulaire forte; passe progressivement à
- 33 -70 cm 2,5 YR 4,5/8; passe de F 48 à F 38 vers la base; rouge, de plus en plus homogène; texture sableuse, structure massive; débit aisé polyédrique; cohésion moyenne; porosité voisine.
- 70 -144 cm 2,5 YR 4/8; F 38; rouge plus vif quelques taches diffuses plus rouges; même texture; cohésion plus forte, restant moyenne; assemblage des grains légèrement plus compact mais structure à tendance particulière; toutefois quelques agrégats peu durcis.
- 114-130 cm 2,5 YR 5/8; rouge plus clair; remplissages décolorés plus abondants; sableux; structure massive, parfois à tendance polyédrique nette (débit à arêtes flexueuses); structure fine particulière; même cohésion; un peu plus poreux (termites);  
Transition sur 2 cm, par quelques gros quartz.
- 130-197 cm Masse de grains de quartz assez bien calibrés, anguleux de 3 à 4mm, en assemblage lâche, jointayés par des films très rouges, parfois visiblement argileux; les interstices sont comblés de sables éoliens eux-mêmes en assemblage lâche, rouges quelques feldspath.

2ème FACE

- 0 - 24 cm Horizons supérieurs humifères légèrement décolorés.
- 24 - 40 cm Horizons décoloré.
- 40 - 70 cm Horizon rougi, passant brutalement à :
- 70 - 85 cm Arène rougie peu argilisée; quartz, feldspath opaques, riebeckites isolées de fils argileux rouges abondants.
- 85 - 105cm Ocre pâle; même élément, mais pas de fils argileux cristaux de quartz et de felds path parfois encore adhérents feldspath imprégnés d'ocre.
- Roche altérée en noyaux; feldspath très blancs mais friables; riebeckites couvertes de paillettes verdâtres.
- Arène à fils argileux comparables à 70-85 cm
- Éléments communs à plusieurs horizons (1° FACE)
- Fissures : très fines, obliques, tous les 50 cm jusqu'à 130.

Trous canaux : jusqu'à 45 cm nombreux trous de moins de 5mm tous les 3 ou 4 cm; de 45 à 144 cm mêmes trous répartis tous les 10 cm; vers 144 cm nids de termites ( $\sqrt{10}$  cm).

Raies : plus rougies que le fond, en général peu visibles, assez fortement flexueuses, anastomosées ; dans l'horizon rougi; épaisseur de l'ordre du cm; sur une troisième face se placent à 16, 24, 36, 50, 56, 65 cm (arène à 77 cm).

Racines : verticales, fines suivant les fissures; abondantes jusqu'à 20 cm plus rares jusqu'à 70 cm très rares vers 130 cm.

Cette coupe est formée de deux éléments distincts. La partie supérieure est un sol ferrugineux tropical peu lessivé évolué, la partie inférieure une arène granitique à sommet imprégné de sesquioxydes et d'argile. L'originalité de ce sol est dans sa couleur extrêmement rouge, possédant un maximum d'intensité vers 100cm. Il n'est pas possible de définir le matériau, l'épaisseur de la couverture sableuse étant inférieure à l'épaisseur probable du profil horizons décolorés peuvent avoir 45 cm d'épaisseur, en dépit d'une forte érosion anthropique. Les horizons d'accumulation n'ont pas de structure différente de celle qui s'observe dans les sols ferrugineux lessivés des ergs orientés. Les raies rougies, présentent dès la base des horizons lessivés, sont constantes. Elles sont une conséquence de la migration des éléments fins et des sesquioxydes qui se poursuit dans l'arène sous jacente, ce que démontre la présence de films rouges et l'analyse de la fraction sableuse des poches constituées uniquement de grains de quartz (provenant probablement d'un remaniement antérieur à la mise en place des sables). Toutefois les films argileux et la rubéfaction du sommet de l'arène, normalement bien pourvue en éléments altérables, proviennent plutôt de son altération propre, car on les observe aussi sous des éboulis, dépourvus de tout revêtement sableux.

#### 44-2 Propriétés analytiques

Les taux et la répartition de la matière organique sont les mêmes que ceux des sols ferrugineux des ergs orientés.

Les taux d'argile et de limon sont deux fois plus élevés que la moyenne des sols sableux : 4,5% en surface, 14% dans l'horizon le plus riche, ici plaqué sur la roche, ce qui est propre aux sols lessivés reposant sur un support moins perméable, ce qui confirme que le profil n'a pas son développement normal. La granulométrie des sables est celle des ergs orientés, le profil ne renfermant de quartz

issu de l'arène granitique qu'en surface, où ils sont apportés par les eaux ruisselant des blocs de roche, et en profondeur, sous l'action d'animaux fousisseurs; le mode est de 0,24mm.

Par rapport aux sols sableux normaux, les taux de sesquioxides sont relevés de la même façon et atteignent pour les mêmes horizons : 0,45 et 0,9% (fer libre). Le rapport fer libre sur fer total est toujours fort et varie entre 70 et 90%.

Les coefficients de saturation sont bas et sont ceux des sols très bien drainés : 60% en surface, 40% en profondeur; les pH correspondants sont toutefois plus élevés d'une demi-unité environ que ceux de la moyenne des sols sableux : 6,2 et 6,3. L'équilibre des bases est à peu près le même que dans la majorité des cas, y compris le minimum du taux de magnésium; les taux de sodium semblent relativement plus forts, mais la différence n'est pas significative : 0,12 méq en moyenne dans le profil contre 0,09 dans les ergs orientés. La somme des bases échangeables est de 2 méq environ en surface, 4 méq en profondeur.

Toujours par rapport aux sols normaux, ils sont bien pourvus en azote (0,2%) mais plus pauvres en phosphore (0,2%).

Les analyses de l'arène montrent une réelle indépendance de la couverture meuble par rapport à cette dernière où en particulier, le rapport fer libre sur fer total est plus bas (50 à 60%), la richesse relative en sodium deux fois plus élevée, le pH égal ou supérieur à 7; l'arène ferruginisée, dans ses parties fines, semble faire transition, par un rapport fer libre sur fer total plus élevé (70%), un pH plus faible.

#### 44-3 Extension et Cartographie

Ces sols se développent sur des placages sableux de faibles dimensions (quelques hectares) accrochés à des pointements granitiques, le plus souvent altérés puis cuirassés en bas de pente. La brièveté des chaînes ne donne pas lieu à d'importantes variations morphologiques. Les zones à sols rouges sont séparées à des cotes inférieures, par des glacis à très faible pente où la roche est recouverte d'une nappe graveleuse où se mélangent, selon le lieu, les éléments grossiers des grés enchassant les granites et les produits d'altération de ces derniers; cette nappe a été reprise dans un concrétionnement ferrugineux.

identique d'aspect à celui que l'on observe sur les surfaces correspondantes sur grés continentaux; elle est recouverte d'un mince manteau colluvial à sols à pseudogley de surface dont l'aspect est voisin de celui des sols hydromorphes sur grés. L'ensemble a été cartographié en association et dessine une aire arrondie de quelques 150 Km<sup>2</sup> à l'Ouest de Zinder, dont la partie ancienne a été édiflée sur les sols ferrugineux peu lessivés très rouges précédemment décrits.

#### 44-4 Utilisation

La proximité d'une grande ville explique leur état de destruction avancé par érosion en nappe ravinante déclanchée par des excès culturaux et favorisée par la situation topographique de ces sols, pentus, aux pieds de chaos fonctionnant comme surface de ruissellement, par leur faible épaisseur entraînant une rapide saturation en eau. Actuellement affleurent le plus souvent les horizons d'accumulation durcis à l'air et inutilisés. Restaurés, ils pourraient donner d'excellentes terres à arachides, car ils ont à la fois les granulométries favorables des sols "diors" sur ergs orientés et une plus grande richesse en bases.

#### 44-5 Conclusions

Par leur morphologie et leur situation topographique ces sols sont l'équivalent des sols ferrugineux peu lessivés les mieux drainés, dont le type est NA 28 ZINDER; ils ne s'en distinguent que par la teinte excessivement rouge du profil et accessoirement par une plus faible épaisseur. Ils sont également comparables aux sols ferrugineux peu lessivés des "jupes" sableuses du Damagaram décrits ci-dessous (voir NA 93 ZERMOU). Analytiquement, ils se distinguent de leurs équivalents morphologiques "normaux" par une plus grande richesse en sesquioxides et éléments fins, et une plus grande mobilité du fer, à mettre en parallèle avec leur teinte plus vive.

Nous constatons que, bien que l'enrichissement en éléments fins et sesquioxides soit du même ordre de grandeur que pour les sols sableux plaqués sur les grés, il n'a pas abouti à donner des structures plus différenciées. La nature de ses argiles n'est pas en cause, car leur capacité d'échange est de l'ordre de 30 méq lorsqu'ils reposent sur grés, et l'on sait que les aptitudes structurales

des argiles croissent avec leur capacité d'échange. Nous pensons que la structure plus fragmentaire des sols sableux sur grés est simplement due à une répartition spatiale plus irrégulière des sesquioxydes dans les horizons, provoquée par un drainage plus lent.

Etant donné la localisation stricte de ces sols autour des granites alcalins altérés il est évident qu'ils contribuent à l'originalité de ces profils. L'enrichissement en fer, et ses conséquences morphologiques, en sodium, la plus forte capacité d'échange de l'argile, sont vraisemblablement dus à la présence d'arènes libérant des sesquioxydes, des cations où le sodium est bien représenté, et dont les résidus d'altération sont formés d'argiles où la kaolinite dominante est encore mélangée à des argiles à feuillet gonflants. Le mécanisme de cette action reste obscur, car le profil est dépourvu, à des niveaux exceptionnels près, d'éléments grossiers issus des granites, et l'examen des propriétés analytiques montre qu'actuellement ce serait plutôt l'arène sous jacente qui recevrait des apports du profil et que, l'enrichissement en fer, bases, étant acquis, l'évolution chimique des fractions fines du sol ne ressemble pas du tout à celle de l'arène, sauf à sa partie supérieure, et encore partiellement, soumise au même pédoclimat que la base du profil.

G4-5 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES SUR MELANGE DE SABLES EOLIENS ET DE MATERIAUX ISSUS DE ROCHES METAMORPHIQUES DU DAMAGARAM

45-I Morphologie

Le profil NA 93 ZERMOU a été observé sur une coupe naturelle entaillée par une ravine dans un ensablement à pente raide (10%) accroché à la barre de quartzite du Nord de Zermou; la végétation est nettement psammophile; c'est une savane herbeuse à *Aristida longiflora* parsemée de *Leptadenia pyrotechnica* et de *Faidherbia albida*.

Profil érodé, appauvri en matière organique.

0 - 24cm 5 YR 5/4; brun rouge, nettement décoloré; hétérogène taches et marbrures rouges; matière organique inégalement répartie; sableux, sables éoliens; structure massive, débit à faces planes; cohésion faible; porosité fine d'assemblage très développée.

- 24 - 42 cm 2,5 YR 4/5; rouge brun; des taches rougies, et grains décolorés, encore nombreux; même texture; structure massive à débit facile cubique; cohésion moyenne à faible; zone de développement maximum de la porosité du même type que ci-dessus.
- 42 - 75 cm 2,5 YR 4/6; rouge; sableux, à grains colorés plus abondants que ci-dessus; structure massive à débit plus anguleux cohésion moyenne à faible porosité plus fine très forte; chevelu toujours dense et abondant.
- 75 - I25 cm 2,5 YR 5,5/6 (plus jaune); jaune rouge; sableux riche en sables colorés; structure massive à débit régulier à faces planes; cohésion plus faible; porosité réduite.
- I25 - 200 cm 2,5 YR 5,5/8; jaune rouge plus clair; sableux, le plus riche en grains colorés; minimum de cohésion et de porosité du profil.
- A I5 m dans une zone protégée de l'érosion due à la proximité de la ravine, on observe.
- 0 - 24 cm 5 YR 5/3; brun nettement décoloré; sableux; structure nuciforme à cohésion faible; assemblage particulière; très forte et fine porosité d'assemblage; très nombreuses radicales.
- En surface 2 à 3 cm de sables déliés.

Nous avons ici affaire à un sol ferrugineux peu lessivé de couleur très rouge, où les variations de la structure se limitent à celles de la porosité, la répartition des sesquioxides et des éléments fins étant très homogènes. La profondeur de la zone décolorée est de 45 cm; le niveau le plus rougi est à 60 cm de la surface; le matériau est structurellement atteint dès I25 cm, mais la rubéfaction est encore sensible à 2m, certaines coupes présentant des sables non structurés de teinte 7,5 YR 5,5/6, moins rouge que la base du profil ci-dessus. Morphologiquement, ce sol est l'équivalent de sols ferrugineux peu lessivés bien drainés de sommets de dunes, très faiblement structurés et le plus souvent dépourvus de raies.

Chaque ensablement, sorte de cône sableux recouvrant un ancien glaciais d'érosion, présente des variations dans l'aspect des profils, la rubéfaction étant plus intense à mi-pente qu'au sommet. L'érosion éolienne et hydrique conjuguées renforcent ce contraste. Les eaux pluviales reçues sur les versants des reliefs



rocheux ruissellent en partie à la surface de l'éboulis qui les recouvrent puis sont absorbés par l'ensablement accrochés plus bas; mais très souvent une ravine se forme à leur contact qui, en enfonçant son lit, provoque un appel à l'érosion en nappe ravinante de part et d'autre de ses berges, principalement aux cotes moyennes de l'ensablement. Les profils voisins sont décapés et leurs horizons d'accumulation apparaissent à l'air, formant des taches rouge vif visibles de fort loin. Les sables des décharges des ravines, mélange de grains éoliens et de débris arrachés aux roches, s'accumulent à faible distance, en bas de pente, où ils sont actuellement promptement colonisés par la végétation. Il est probable que, lors de périodes un peu plus sèches, ces zones d'accumulation sableuses sont la source des sables vifs que le vent remonte sur les versants et les ensablements. Ce processus n'est pas actuellement visible mais il a laissé de nombreuses traces sous formes profils complexes à sols peu évolués coiffant les sols rouges sous jacent. Il explique aussi le mélange de grains éoliens et de grains de roche, souvent à peine émoussés, dans les profils, si l'on admet qu'il a joué pour la constitution de la totalité de l'ensablement.

#### 45-2 Propriétés analytiques

Les taux et la répartition de la matière organique sont les mêmes que ceux des sols ferrugineux des ergs orientés.

Les taux d'argile et de limon sont de 4,5% en surface, 8,5% dans l'horizon d'accumulation, soit une fois et demi plus élevés que dans les sols normaux. Les sables sont un peu plus grossiers que la moyenne, les modes étant de l'ordre de 0,25mm.

Les taux de sesquioxydes sont relevés dans les mêmes proportions que ceux des éléments fins; on note 0,3 et 0,65% de fer libre aux mêmes niveaux. Le rapport fer libre sur fer total est élevé, atteignant 80% au niveau le plus rougi.

#### 45-3 Extension et Cartographie

On trouve ces sols en auréoles autour de tous les massifs de quartzite du Damagaram. L'ensablement masque en général le haut d'un versant établi sur une roche métamorphique plus tendre. La partie inférieure du glacis porte des sols sur colluvions à horizon supérieur mécaniquement durci et à structure laminaire, lé-

gèrement décoloré, reposant sur un niveau rougi, sols identiques aux sols subarides de glacis de type "gris" (voir IC 336); elle s'achève sur des sols hydromorphes. Ces versants partiellement ensablés ont été cartographiés en association dont l'élément majeur est fourni par les sols ferrugineux des ensablements dans toute la partie Occidentale du Damagaram. Vers l'Est au contraire ce sont les sols brun rouge durcis de glacis qui dominent (voir IC 335) et donnent leur nom à l'association. Les sols sur ensablements différent alors des sols ferrugineux précédemment décrits par une destruction poussée des horizons lessivés qui sont remplacés, soit par un niveau sableux non structuré brun jaune, soit par le sommet des anciens horizons d'accumulation.

#### 45-4 Utilisation

Nous n'avons observé que des cultures de mil pénicillaire sur ces sols et plus souvent encore des pâturages. La raison de cette désertion des cultures n'est pas due à une basse fertilité chimique intrinsèque de ces sols, mais à un état d'érosion avancé et à un régime hydrique déficient. En effet, la raideur des pentes et la mise à nu des horizons d'accumulation favorisent le ruissellement qui exporte les eaux de pluies en dehors des profils, ces derniers sont en outre privés des eaux venues des surfaces rocheuses supérieures, par circulation superficielle et hypodermique, par les ravines qui les en isole et font office de drains naturels. Ces sols furent jadis très recherchés, comme sites d'habitation et de cultures, comment l'attestent de nombreuses ruines et des parcs à *Faidherbia*. Leur restauration serait surtout utile dans le Nord Damagaram, où les terres perméables sont rares.

#### 45-5 Conclusions

Ces sols sont des sols ferrugineux peu lessivés bien drainés dont les teintes vives sont dues à une plus grande richesse en sesquioxydes du matériau s'accompagnant d'une grande mobilité du fer. Cet enrichissement est évidemment dû à la proximité des roches métamorphiques et pourrait avoir deux causes :

- mélange de grains éoliens et de sables arrachés aux roches selon le mécanisme évoqué plus haut.
- imprégnation de la masse sableuse par les eaux de ruissellement et d'écoulement hypodermique venues de l'amont rocheux; ce mécanisme a déjà été évoqué pour

l'interprétation de données analytiques de sols subarides de glacis (IC 333).

Ils sont relativement peu structurés, comme les sols des parties hautes des dunes anciennes, dont ils ont la position topographique.

C4-6 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES SUR LA FORMATION SABLEUSE DE BANDE.

46-I Morphologie

Le profil NA 59 KAFIN BAKA est le type des sols de cette famille. Il a été décrit sur le bord du plateau gréseux qui ferme au Sud-Ouest le bassin de la Korama. Le modelé est celui d'une plaine sableuse à peine ondulée. La végétation est une jachère arbustive dense à *Bauhinia reticulata*, *Guiéra senegalensis*, *Annona* sp, se développant aux dépens d'une savane arborée à *Butyrospermum Parkii*.

5 cm de sables déliés brun jaune.

- 0 - 27cm 5 YR 4,5/4; brun rougeâtre foncé, homogène; sables éoliens moyens bien calibrés; structure massive à débit anguleux; cohésion moyenne; porosité tubulaire fine moyennement développée; porosité d'assemblage fine médiocre; fin chevelu.
- 27 - 54cm 5 YR 4,5/6 (plus rouge); rouge brun; de fines taches rouges diffuses; même texture; débit plus anguleux et cohésion plus forte et grossière; quelques radicelles.
- 54 - 100cm 5 YR 4,5/8; (plus rouge); rouge clair; même texture structure massive; semble moins agrégé; porosité réduite; radicelles rares.
- 100-120cm 2,5 YR 5/8 (plus jaune); rouge plus clair; de nombreux remplissages fins et clairs sableux; même texture; structure massive à noyaux compact durcis rares.

Vers 170cm Surface horizontale cuirassée; cuirasse ferrugineuse; structure pisolithique à lits orientés subhorizontaux formée de noyaux de grés fins sans grains de quartz ferruginisés; ciment à cassure violacée; patine très mince et jaunée; enduits argileux rose à rouge.

De 170 à 190 cm noyaux plus fins et deux types de patine; noire en surface (patine de mise à nu) et brun jaune au-dessous.

Le profil est dans l'ensemble très rouge, d'aspect homogène, la décoloration peu contrastée, quoique portant sur une grande épaisseur (54cm), et les variations de structure uniquement perceptibles par la porosité. Le matériau n'est pas visible, l'épaisseur de la couverture sableuse étant ici inférieure à celle que pourrait avoir le profil, et qui atteint près de trois mètres dans les coupes de Bande. Les variations morphologiques des sols de cette famille sont peu importantes au Niger Oriental en dehors des changements d'épaisseur de la couche sableuse (0 à 3m) et des horizons lessivés, plus ou moins atteints par l'érosion (30 à 70 cm); on observe parfois des profils à drainage interne moins bon; ils sont de teinte plus foncée, à raies et marbrures, à structure plus différenciée, tel le NA 57 BAKORAOUNI :

0 - 42 cm      7,5 YR 4/2; brun gris foncé, homogène; sables éoliens assez bien calibrés; humifère; structure polyédrique en assemblage compact; cohésion moyenne; dur; porosité d'assemblage d'agrégats très développée; porosité tubulaire ( $\phi$  moins de 3mm) moyenne; quelques radicelles; des racines ( $\phi$  5 à 6 cm) horizontales.

42- 70 cm      7,5 YR 4,5/; ocre brun avec des ségrégations très diffuses ocre; même texture; structure massive, débit à faces planes légèrement anguleux; cohésion moyenne, grains du squelette non cimentés; porosité d'assemblage plus fine et moins forte.

On devine 2 ou 3 raies peu nettes dans l'horizon.

70-140 cm      5 YR 5,5 - au sommet, 5 YR 6/6 à la base; ocre à ocre jaune avec de petites marbrures diffuses et nombreuses raies violacées de 2 à 3mm espacées de 15 cm environ; sont horizontales et flexueuses; même texture; structure massive à tendance polyédrique (3 à 4cm); cohésion moyenne à forte, plus forte dans les noyaux compacts; porosité d'assemblage décroissant vers la base et inégale (noyaux compacts), porosité tubulaire fine analogue; porosité des raies plus forte et plus grossière que dans le reste du profil.

La cohésion devient moyenne à la base du profil.

Le contact entre la nappe sableuse et les grés du Continental Terminal cuirassés sous jacent (cf. I° partie IIB1 et IIC2) est très net, et souligné par le reg, lit de débris de roches ou de cuirasse patinés et horizontalement orientés, qui s'est formé en milieu aride préalablement à la mise en place des sables. La plupart du temps cette discontinuité ne donne pas lieu à des phénomènes d'engorge-

ment perméables; on y observe tout au plus une plus forte activité biologique, se traduisant par l'apparition de trainées organiques et d'une porosité très grossière; un exemple en est l'horizon le plus profond de NA 58 BAKORAOUNI :

75-90 cm 5 YR 5/6; rouge jaune, de plus en plus foncé vers la base, à trainées grisâtres; sableux, renferme quelque débris de grés; structure massive à débit de plus en plus polyédrique vers la base; porosité tubulaire de plus en plus grossière vers la base; nombreux remplissages de cavités bien aggrégés au contact des grés.

90 cm - Grés.

En outre, la nappe phréatique nourrie par les grés, et les sables ne se déverse pas dans cette formation mais dans les sables plus récents à sols peu évolués des vallées, où elle provoque sur la ligne de sources, un concrétionnement particulier, tubulaire ou massif à faciès spongieux (cf I° partie IIC2). Nous en concluons que l'homogénéité d'aspect des sols rouges de la formation de Bande est due à l'uniformité du régime de drainage entraîné par la perméabilité du substrat, sables et grés et à sa topographie régulièrement aplanie.

En résumé les sols sur formation sableuse de Bande sont peu structurés, fortement rougis, faiblement décolorés à la partie supérieure, ces propriétés restant constantes sur de grandes étendues.

#### 46-2 Propriétés analytiques

##### ° Matière organique

Ces sols se classent parmi les sols ferrugineux peu lessivés les moins pauvres en matière organique, dont le taux en surface varie de 0,25 à 0,40%; elle est bien décomposée, le C/N étant de 10 environ.

##### ° Texture

La granulométrie des sables a été précédemment définie (I° partie IIB 22I b); elle est fort homogène dans et entre chaque profil, le mode variant seulement de 0,20 à 0,21mm (43 à 47% de sables grossiers).

L'augmentation des taux d'argile et de limon vers les horizons les plus rougis est fort sensible et régulière, mais les variations entre profils sont beaucoup plus étendues que ne le laissait soupçonner l'examen morphologique; les rapports de ces taux et de ceux des sols sur ergs orientés sont compris entre I et I,5. Nous ne pouvons évaluer avec certitude l'enrichissement du sol par rapport au matériau, ce dernier n'ayant été vu qu'une fois; il renfermait alors deux fois moins d'éléments fins que l'horizon d'accumulation.

° Sesquioxides

Les variations du taux de fer libre répètent celles des taux d'éléments fins; l'horizon le plus riche n'en renferme pas plus de 2,2%, chiffre comparable au maximum observé sur les sols ferrugineux peu lessivés sur matériaux mixtes sur grés argileux. Le rapport fer libre sur fer total est très élevé dans tout le profil, atteignant 90%, à la base de l'horizon lessivé.

° Le complexe absorbant

Ces sols ont la remarquable et singulière propriété d'être saturés ou légèrement désaturés, le coefficient descendant rarement au-dessous de 80%, avec un minimum dans l'horizon d'accumulation. Les pH correspondants sont compris en gros entre 5,7 et 6,5; ces sols ne sont donc que modérément acides. Le taux des bases échangeables est néanmoins faible, compris entre I et 2 méq dans tout le profil, avec un minimum dans l'horizon humifère (à l'exception, probablement accidentelle, de NA 57 BAKORAOUNI). L'équilibre des bases ressemble à celui que l'on a donné pour les ergs orientés, avec un plus fort excès du sodium sur le potassium :

$$\text{Ca} = \text{II} \quad \text{Mg} = 3,5 \quad \text{K} = 0,35 \quad \text{Na} = \text{I}$$

° Propriétés physiques

La perméabilité croît de I à 3 cm/h vers l'horizon plus rougi, mais les agrégats sont entièrement détruits par le tamisage.

° Fertilité chimique.

Les taux d'azote sont de l'ordre de 0,15‰ et les taux de phosphore sont compris entre 0,20 et 0,45‰. La fertilité est donc basse.

#### 46-3 Extension

L'extension de ces sols est avant tout d'ordre morphologique, car ils sont toujours associés à de bas plateaux cuirassés du Continental Terminal, localisés au Sud-Ouest de la feuille, au Sud de la ligne Magaria-Matameye, et à deux aires isolées au centre des sables récents de la Korama, autour de Bandé et du radier de la route Zinder-Magaria. La couverture sableuse disparaît parfois en laissant affleurer les grés et leur cuirasse, principalement dans la région de Sasoum Bouroum. Ces sols font en outre partie d'un vaste ensemble de sols rouges sableux chevauchant la frontière Sud-Nigérienne dès l'Ouest de Magaria et recouvrant soit le Continental Terminal, soit du quaternaire ancien.

Les pluviométries correspondantes vont de 575 mm à 625 mm; l'aire principale, recevant plus de 600mm; est la zone la plus arrosée du Niger Oriental.

#### 46-4 Végétation

Elle est constituée par des restes les plus septentrionaux, des savanes arborées à *Butyrospermum Parkii* et *Parkia biglobosa*. Les cultures n'en laissent le plus souvent subsister que des jachères à *Bauhinia réticulata*, très caractéristiques, parsemées de quelques arbres : *Prosopis africana*, *Borassus flabellifer*, de plus en plus envahissant vers le Sud, *Detarium microcarpum*. Le tapis herbacé le plus fréquent est à *Andropogon gayanus*.

#### 46-5 Utilisation

Ce sont ces sols qui produisent les arachides commercialisées dans la région de Matameye; cette culture y est surtout favorisée par une pluviométrie suffisante et une texture convenable; on y observe déjà les effets de la destruction des horizons humifères. Les essais de conservation du stock de matière organique y seraient certainement plus efficaces qu'ailleurs, d'une part parce que les pluies y facilitent la pousse et l'enfouissement des engrais verts, d'autre part parce qu'il n'existe pas de facteurs topographiques ou morphologiques favorisant l'érosion.

46-6 Cartographie

Ces sols forment une unité cartographique où l'on a négligé les affleurements de grés cuirassés, faute d'extension suffisante de ces derniers.

C4-7 LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES A ACTION DE NAPPE EN PROFONDEUR SUR LA FORMATION SABLEUSE DE MALWA.47-I Morphologie

Au Sud de Magaria la couverture sableuse, à sols grisâtres, parcourue de dépressions peu accusées colmatées d'alluvions fines noirâtres, est régulièrement bosselée par des rides rouges, d'une hauteur de trois mètres environ, longues de plusieurs centaines de mètres, orientées Nord Est-Sud Ouest, et représentant les anciens sommets d'un système dunaire très fortement aplani et colmaté. Un profil sur ces hauteurs à l'aspect suivant (NA 72 TINKIM) :

- 2 cm de sables déliés brun clair
- 2 -15 cm IO YR 5/3,5; brun clair à brun ocre; sableux; structure massive débit régulier à faces planes; cohésion faible, est presque particulaire; légèrement feuilleté en surface (culture); porosité fine de type tubulaire; canaux d'insectes de 0,5 cm.
- 15 -57 cm 7,5 YR 4,5/4 : brun ocre à trainées et lignes brun ocre foncé; horizon lessivé en fer; sableux; structure massive, débit faiblement anguleux; cohésion faible, est particulaire; zone de porosité tubulaire maximum; traces de porosité d'assemblage; zones de développement maximum des radicelles.
- 57 -87 cm 5 YR 5/6; fond beige couvert d'un réseau de taches ocre rouge confluentes parfois à centre plus foncé brun rouille; six lignes horizontales brun rouille (parfois jusqu'à 1 cm d'épaisseur) pouvant être gainées d'une zone plus claire, à porosité d'assemblage lâche développée, parfois parcourues de fins canaux (racines); des remplissages bruns (horizons supérieurs) et blancs (hor. inférieurs); sableux; structure massive à débit assez anguleux; porosité de type tubulaire, essentiellement 5 à 6 canaux de Ø 2 mm au cm<sup>2</sup>; enracinement réduit.



- 87 - 165 cm 5 YR 4,5/7; rouge jaune; apparaît nettement rougi; des lignes assez fines (2 à 4mm), subhorizontales, festonnées renflées de loupes, continues, non anastomosées; ces raies, espacées d'au moins 2 cm, en moyenne de 5 cm, sont rouge violacé (I), légèrement plus cohérentes et poreuses que la masse du sol et dépourvues de films; leur aspect ne varie pas sensiblement avec la profondeur; on observe des remplissages de sables blancs; sableux; structure; massive, débit à faces planes, grains peu cimentés; porosité tubulaire fine variant localement et décroissant vers la base; de rares racines des racines de I à 2 cm jusqu'à 150 cm.
- 165 - 193 cm 7,5 YR 5/8; semble formé par décoloration progressive vers la base de l'horizon supérieur; juxtaposition de taches ocre rouge et jaune; des remplissages blancs et des taches brunes; structure massive à grains non cimentés; quelques pores de 1mm; aspect tassé; le sommet coïncide avec la dernière raie.
- 193 - 230 cm 10 YR 6,5/6; jaune à jaune ocre clair non homogène à zones plus blanches et remplissages rouge brun; sables tassés sans structure définissable.
- 230 - 275 cm 10 YR 8/2; sables blancs; jusqu'à 250 cm taches jaune ocre larges de I à 2 cm festonnant la base de l'horizon précédent; des remplissages de canaux à section circulaire rouge brun; vers la base des trainées linéaires horizontales ou obliques brunes de 4 - 5 cm; structure particulière; humide.

Cette coupe est formée de deux ensembles pédologiques formés simultanément sur le même matériau :

de 0 à 165 cm on observe la succession habituelle des horizons d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé, bien drainé, à raies

- 2 - 15 horizon lessivé et humifère; couche arable
- 15 - 57 horizon lessivé; très poreux.
- 57 - 87 sommet de l'horizon rougi, à répartition irrégulière des sesquioxydes; des raies; maximum structural.
- 87 - 165 horizon rougi; répartition homogène des éléments fins et sesquioxydes en dehors des raies.

de I65 à la base du profil on note les effets d'un engorgement temporaire par nappe en milieu sableux :

I65 -I93 horizon de transition où se manifeste une hydratation irrégulière (taches jaunes) des sesquioxydes de l'horizon rougi.

I93 -230 zone d'hydratation et de dissolution des sesquioxydes.

230 -275 zone très appauvrie en sesquioxydes, "lavée" par la nappe.

Cette interprétation est déduite, non de l'observation directe de ce profil où la nappe n'est plus visible, mais de l'examen de sols rubéfiés de l'Ader Douchi dont la base présentait la même succession de niveaux.

zone de transition et sables à plages jaunes correspondant à la frange capillaire.

sables blancs correspondant à la nappe elle-même.

Ce niveau d'engorgement est l'équivalent des sables blancs que l'on a toujours observé à la base de la couverture sableuse des sols de la cuvette tchadienne (Manga Korama), couverture dont les sables de MALWA font partie. On en a tenu compte la classification tant à cause de son évidence morphologique que de son caractère subactuel.

Les sols rouges n'occupent qu'une faible partie de la surface totale, de l'ordre de 15% dans la chaîne considéré. Le reste, en dehors de quelques placages alluviaux, est formé de sols (bruns à drainage réduit) à profil plus foncé et homogène, dont la zone à engorgement de nappe présente des ségrégations (taches et concrétions) ferrugineuses, parfois accompagnées d'accumulations (nodules et pseudo-mycélium) calcaires, ainsi qu'une structure beaucoup plus complexe; le type en est le profil NA 73 TINKIM, observé à proximité, mais 3 m plus bas :

Sables blanc grisâtre en surface

0-10cm Beige clair; sableux; structure massive à débit à faces planes, plus aisé horizontalement; structure à tendance muciforme sur les 2 à 3 premiers centimètres; grains du squelette non cimentés; médiocre porosité tubulaire quelques gros canaux.

- 10 - 30 cm Gris brun; humifère, mais matière organique inégalement répartie; des remplissages blancs ou bruns; sableux; structure massive, débit plus anguleux; cohésion également faible; porosité de type tubulaire; chevelu fin décroissant vers la base.
- 30 - 52 cm Brun jaune clair à taches diffuses plus jaunes; parcouru de lignes fines brun ocre foncé, non continues (ep. 1-2mm, tous les 4-5cm); humifère; sableux; structure massive, débit légèrement anguleux; cohésion faible, se débite finalement en grains isolés; quelques pores de moins de 2mm.
- 52 -II5 cm Horizon discontinu et d'épaisseur variable; sables gris blanchâtre à poches grises et lignes brun clair, fines, assez irrégulières, parfois verticales; sableux; pas de structure différenciée; quelques pores tubulaires fins jusqu'à 80 cm des concrétions dures: couleur variant du noir à l'ocre; formes en tubes non orientés, ramifiés ou non, ou plus arrondie, taille allant de 2 à 5 cm; pas d'auréole colorée.
- II5-I40 cm Blanc; des taches diffuses jaunes (jusqu'à 10 cm), des taches à contours nets ocre brun (concrétions); des poches grises; sableux; pas de structure différenciée.  
Les concrétions sont ferrugineuses, formées par imprégnation insitu; elles se rassemblent dans les zones jaunes de forme vaguement tubulaire ou mamelonnée, avec parfois un canal central auréolé de brun-rouille, elles ont une taille allant de 2 à 5cm; elles se coupent sous l'ongle.  
Pas de raies, dans cet horizon.
- I40-220 cm Sables blancs et fins; des lignes brunes subhorizontales anastomosées; flexueuses, à loupes de 1 à 3cm, espacées de 5 cm en moyenne; des trainées rouges obliques, rares
- 220-400 cm (sondage) - id -
- 400-420 cm Sables jaune clair (cf II5-I40).

L'interprétation en est la suivante :

- 0 - 30 cm : horizons humifères et lessivés
- 30 - 52 cm : horizon d'individualisation et d'accumulation
- 52 -II5 cm : zone de dissolution partielle des sesquioxides; concrétionnement à faciès tubulaire ou spongieux
- II5 -I40 cm : zone d'hydratation et de dissolution des sesquioxides; concrétionnement plus tendre et massif;
- I40 -400 cm : zone très appauvrie en sesquioxides; raies
- 400 -420 cm : zone d'hydratation des sesquioxides.

L'interprétation en est la suivante :

- 0-30 cm : horizons humifères et lessivés.
- 30-52 cm : horizon d'individualisation et d'accumulation.
- 52-II5cm : zone d'hydratation et de dissolution des sesquioxides; concrétionnement plus tendre et massif
- I40-400cm : zone très appauvrie en sesquioxides; raies.
- 400-420cm : zone d'hydratation des sesquioxides.

La succession des horizons de nappe montre que cette dernière s'est établie à divers niveaux, vers II5, puis vers 400; actuellement elle est au-dessous de la cote 530 cm. On remarque aussi, qu'en dépit d'un drainage interne visiblement ralenti, il n'y a pas de structure différenciée, en dehors des variations habituelles de porosité. Ce profil ne renferme pas de carbonates, mais un sol de la même chaîne, situé à une cote inférieure de 2m, renferme des nodules et des amas rhizoïdes dans un horizon équivalent à l'horizon I40-400 mentionné ci-dessus.

En dehors de cette variation d'origine topographique la chaîne des sols établie sur cette formation sableuse présente un changement géographique, les profils étant de moins en moins différenciés au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'aire à sols ferrugineux peu évolués située entre le Mounio et la Korana, au Nord de Malwa. A leur limite on observe des coupes bien drainées telles que le NB 28 MALWA :

Aspect superficiel : Présence de termitières coniques de 1,50m. de coloration ocre à ocre-rouge.  
: Sables déliés ocre à ocre beige sur 5 cm.

0 à 3 cm. IO YR 5/3 : Brun jaune (légèrement beige); Très faiblement humifère; Sableux; Structure feuilletée passant localement à nuciforme; Cohésion faible; Porosité bonne mais très fine; Chevelu fin abondant, quelques radicelles.

3 à 15 cm IO YR 5/4 : Brun jaune; très faiblement humifère; même texture avec des remplissages de coloration rouge; structure massive à débit à faces planes; Cohésion faible; même porosité très fine mais très légèrement

tassé; Chevelu fin abondant, radicelles assez nombreuses.

15 à 25 cm 7,5 YR 4/4 : Brun ocre plus foncé; Encore très faiblement humifère; Présence de remplissages soit très clairs soit rouges; Structure massive à débit plus anguleux, un peu plus dur; Cohésion faible; Porosité bonne, légèrement plus grossière, avec début d'assemblage lâche des grains.

25 à 40 cm 7,5 YR 4/6 : Ocre brun rougi avec des remplissages clairs et rouges; même structure; Cohésion plus faible et porosité plus fine; Frais dès 40 cm.

40 à 80 cm 7,5 YR 5,5/6 : Ocre.

80 à 120 cm Décoloration progressive :

7,5 YR 6/6 : 100 cm

10 YR 7/3 : 120 cm

10 YR 8/2 : 220 cm Presque blanc.

Les horizons sont moins épais (zone lessivée de 25 cm contre 60 cm précédemment), la rubéfaction est moins sensible, les structures sont encore moins développées, il n'y a pas de raies. La base du profil montre une décoloration très progressive, sur plus d'un mètre, vers les sables blancs que nous avons toujours observé sous les sols de la couverture sableuse de la cuvette tchadienne précédemment décrits. Ce changement de morphologie s'accompagne d'une modification progressive du modelé, caractérisé par le dominance de vastes plateaux sableux à sols rougis bien drainés, et de la végétation, la savane passant d'un type arboré à un type arbustif, et les Aristidées remplaçant les Andropogonées.

En résumé, les sols bien drainés de la région Tinkim-Malwa sont des sols ferrugineux peu lessivés à horizons décolorés épais, horizons d'accumulation fortement rougis, base du profil à traces d'engorgement par nappe très évidentes; ils sont peu structurés; ces caractères s'effacent devant ceux des sols ferrugineux peu lessivés et évolués à la limite Nord de leur aire.

47-2 Propriétés analytiques des profils bien drainés (Tableau 26)

° Matière organique

Les taux sont moyennement bas; 0,2 à 0,3% en surface, avec un C/N de II à I2.

° Texture

La granulométrie des sables est une variété, à tri moins poussé, de celle des sables du Manga; elle a été décrite sous le nom de formation de Tinkim-Dungass dans la première partie; le mode moyen de chaque profil est compris entre 0,16 et 0,17 mm (pourcentage des sables grossiers dans les sables totaux de 23 à 25).

Les taux d'argile et de limon sont comparables à ceux des ergs orientés 3% en surface, 5% dans l'horizon rougi; le matériau n'est pas connu, ses caractères étant effacés par action de nappe.

° Sesquioxydes

0,3% de fer libre en surface et 0,6% dans l'horizon d'accumulation sont des taux comparables à ceux des sols les plus rouges sur ergs orientés, tel NA 28 ZINDER. Ce chiffre tombe à 0,12 dans les sables blancs de la base du profil, où le taux d'argile et de limon n'est plus mesurable (moins de 1%).

° Le complexe absorbant

Le profil est à peu de choses près saturé sur toute son épaisseur; les pH sont compris entre 6 et 6,5, sans variations constantes dans le profil. La somme des bases échangeables croît de 2,0 à 2,5 méq dans le profil, ce qui est relativement élevé, mais elle tombe à 1,5 2 méq dans les sols de transition moins évolués (ex : NB 28 MALWA). L'équilibre relatif en est :

$$\text{Ca} = 18 \quad \text{Mg} = 5 \quad \text{K} = 0,9 \quad \text{Na} = 1,0$$

Dans les sols moins évolués il est :

$\text{Ca} = 42 \quad \text{Mg} = 13 \quad \text{K} = 1,2 \quad \text{Na} = 1,0$ ; cette forte déficience en éléments monovalents (K, Na) est caractéristique des sols peu évolués ferrugineux du Manga (voir II C 322).

°Fertilité chimique

Les taux de phosphore total sont compris entre 0,15 et 0,3‰ et d'azote entre 0,12 et 0,20 ‰, valeurs très faibles.

° Propriétés physiques

La perméabilité est de l'ordre de 1 cm/h en surface, où il n'existe pas d'aggrégats résistant au tamisage sous l'eau.

47-3 Propriétés analytiques des profils "bruns", à drainage réduit

Par rapport aux sols bien drainés, rouges, on relève les différences suivantes :

-taux de matière organique plus élevé en surface (0,3%) et C/N plus fort (14).

-profil plus régulièrement saturé et pH légèrement plus élevé (6,2-6,7).

47-4 Extension

On trouve ces sols sur une vaste surface fermant au Sud le bassin de la Korama, à peu près au Sud de la ligne Magaria-Zagari. Les types les plus différenciés s'observent à l'Est de Dungass et les autres à l'Ouest ainsi qu'au Nord de l'aire.

La pluviométrie y varie de 525 mm (sols les moins évolués) à 65 cm. La végétation est formée, dans les parties les plus arrosées, de *Paros* à *Faidherbia albida*, avec de nombreux *Prosopis africana*, dominant des jachères à *Bauhinia aciculata*; dans les zones basses à sols foncés le palmier *Hyphaene thebaica* est fréquent; le tapis herbacé est réduit à des haies d'*Andropogon* sp. et à quelques graminées annuelles : *Pennisetum pedicellatum*, *Cenchrus biflorus*. Dans les parties les plus sèches on remarque surtout des savanes arbustives à *Bauhinia reticulata*, parsemées de *Terminalia avicennoides*, *Prosopis africana*; le tapis herbacé est plus dense, mais à base d'*Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*, *Ctenium elegans*.

#### 47-5 Utilisation

Après les sols ferrugineux peu lessivés sur ergs orientés du Sud de Zinder, sur formation sableuse de Bande, ces sols constituent les terres de la troisième grande zone arachidière du Niger Oriental. Les meilleures conditions sont réunies à l'Ouest de Dungass, tand du fait d'une plus grande richesse chimique que d'une pluviométrie plus forte. On constate en outre qu'à l'Est de Dungass, sur des sols moins évolués, les jachères sont beaucoup plus étendues et la dégradation des horizons humifères nettement visible. Les cultures vivrières de bases sont le sorgho à l'Ouest (sols à profils foncés) et le mil à l'Est.

#### 47-6 Cartographie

L'ensemble des sols ferrugineux peu lessivés sur formation sableuse de Malwa forme sur la carte une seule unité dans laquelle on leur a associé des sols hydromorphes, établis sur des alluvions comblant les anciens interdunes, principalement à l'Ouest, et des sols calcimorphes, formés sur des dépôts limoneux ou finement sableux calcaires, au centre et à l'Est de la zone. Dans toute région il n'existe pas actuellement de nappe superficielle, comparable à celle du bassin de la Korama, sa profondeur actuelle étant de l'ordre d'une dizaine de mètres, d'où l'absence de sols à hydromorphie de nappe.

### C4-8 RESUME DES PROPRIETES DES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES - CONCLUSIONS -

#### 48-I Morphologie

Les chaînes sont établies sur des matériaux très évidemment sableux. Les profils bien drainés, pratiquement ceux qui sont situés dans les parties hautes, sont caractérisés par la succession d'horizons supérieurs décolorés et d'horizons profonds de teinte vive s'éclaircissant progressivement vers la base du profil (voir tableau 28). Ils partagent cette caractéristique avec les sols subarides brun rouge et les sols ferrugineux peu lessivés et évolués; ils s'en distinguent par des profondeurs de chaque type d'horizon plus élevées (voir tableau 27), la plus grande fréquence des teintes très claires en surface (teintes IOYR du MUNSELL), et



surtout la structure des horizons décolorés. Ces derniers comportent en effet un sommet massif, souvent presque particulaire, reposant sur un niveau très fortement poreux auquel une répartition très irrégulière des sesquioxydes et éléments fins confère un début de structure polyédrique. Les horizons d'accumulation sont peu structurés et montrent souvent des raies à leur partie supérieure.

Les sols à drainage oblique (sols de mi pente, de bas de pente) conservent ces caractères en les accentuant, y compris la rubéfaction. Les horizons d'accumulation sont souvent durcis et légèrement structurés; les raies sont fortement développées (cf NA 34 TIRMINI).

Les sols à drainage réduit (surfaces planes à drainage externe ralenti) ressemblent beaucoup aux précédents en dehors d'un assombrissement des teintes du profil. Un type extrême est formé par les sols à raies, fortement décolorés et à horizons d'accumulation remplacés par une succession de raies brunes (cf NA 23 MYRIA).

Les ségrégations ferrugineuses (concrétions tendres) n'apparaissent qu'en position de drainage oblique ou réduit, au contact d'une dalle imperméable. Les nappes phréatiques peuvent donner lieu à un début de cuirassement, en milieu sableux, situé à leur toit, et ce d'autant mieux que le mur est constitué de grès à sesquioxydes (région de Matameye); ce cuirassement, faible et discontinu, est vraisemblablement actuel dans les zones à pluviométrie d'au moins 600mm, mais on en a retrouvé les traces, fossiles situées à la base de la couverture sableuse, en pleine zone subaride. Il se développe où la nappe, formée dans une roche perméable (grès continentaux), se déverse dans le remblayage sableux d'une dépression pourtour de la cuvette tchadienne, bord des vallées ensablées. Nous ne l'avons pas vu dans les dépressions elles-mêmes, la nappe fut-elle présente à faible profondeur. En résumé, le cuirassement "massif à faciès spongieux" caractérise les lignes de source en pédoclimat ferrugineux tropical peu lessivé et milieu sableux.

Dans chaque formation sableuse l'aspect des chaînes de sols dépend à la fois de la nature des sables et de la morphologie du paysage. Sur les ergs orientés, à modelé ondulé, la variété des situations topographiques entraîne celle des profils dont on peut observer tous les types dans une seule chaîne, avec dominance des sols bien drainés lorsque les pentes de l'erg ont été conservées, ou des sols "bruns" lorsque l'aplanissement a été plus poussé. Sur les grès continentaux,

un fort enrichissement en éléments fins et sesquioxydes se combine à un drainage plus déficient pour donner les sols les plus structurés du groupe au Niger Oriental. Autour des granites ou des roches métamorphiques du Damagaram cet enrichissement, plus faible, mais combiné à un drainage accentué par la raideur des pentes des ensablements, provoque une rubéfaction intense sans différenciation structurale. L'originalité de la formation de Bande réside dans la présence quasi exclusive de sols très rougis et peu structurés sur une couverture sableuse complètement aplaniée et reposant, à une profondeur modérée, sur un socle gréseux lui-même fortement raboté.

TABLEAU 28

COULEURS DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES BIEN DRAINES

leur	HORIZON DE SURFACE		HORIZON LE PLUS ROUGI		FORMATION CORRESPONDANTE
	Munsell	Empirique	Munsell	Empirique	
	IOYR 5-6/3-4	gris brun	7,5 YR 5-6/6	jaune rouge	Ergs orientés.
	IOYR 6,5/8-3	beige			
	7,5 YR 4,5/6	beige et -4 brun jaune	5YR 5,5-6,5/6 5YR 4/6/8	rouge jaune rouge jaune	Ergs orientés : sols à accumulation diffuse. BANDE. MALWA.
	5YR 4,5-6/3-4	brun ocre	2,5YR 4-5,5/6-8	rouge	Sols au contact de granites, roches métamorphiques. BANDE.

Note : les couleurs sont notées selon le code Munsell et en langage courant.

48-2 Propriétés analytiques

Ni les taux ni la répartition de la matière organique ne diffèrent sensiblement de ceux des sols ferrugineux peu évolués. La concentration des éléments fins et des sesquioxydes dans les horizons rougis est vraisemblablement due au lessivage dont les raies sont un témoin morphologique. Cependant cette accumulation est toujours supérieure dans l'hypothèse d'un drainage vertical, à ce que permettrait l'épaisseur actuelle des horizons lessivés et la richesse du matériau en éléments mobiles. Cette anomalie peut s'expliquer à la fois par érosion superficielle des horizons lessivés, enrichissement des horizons d'accumulation par lessivage

oblique (sols de pente). Le rapport du fer libre au fer total, qui mesure la mobilité du fer est maximum dans l'horizon le plus rougi ou dans le niveau très poreux qui surmonte ce dernier; il est minimum dans le matériau; ces valeurs ne diffèrent pas de celles qui caractérisaient les sols ferrugineux peu évolués. La variation de la somme des bases échangeables est parallèle à celle des éléments fins, avec maximum dans l'horizon rougi. Le coefficient de saturation n'a pas de variations interprétables dans les profils mais permet de les classer en deux groupes :

- d'une part les sols bien drainés sur ergs orientés, désaturés (moins de 50%).
- d'autre part les sols à drainage réduit sur ergs orientés, les sols des formations de Bande et Malwa, saturés ou peu désaturés (plus de 60%).

Les pH correspondants sont inférieurs à 6 dans le premier groupe, supérieurs dans le second. Les sols de Bandé sont ainsi à la fois fortement rougis et modérément acides. L'équilibre des bases montre une baisse relative du taux de magnésium en surface et diverses particularités régionales vraisemblablement imputables au support de la couverture sableuse : augmentation du sodium au contact des grés hamadiens et des granites alcalins, réduction du taux de sodium et potassium dans la cuvette tchadienne. L'élément minimum est presque toujours le potassium, l'ordre décroissant des cations étant le plus souvent : Ca, Mg, Na, K. Ces sols ne renferment pas d'aggrégats résistants aux tamisages sous l'eau en quantités appréciables, mais les tests de perméabilité décèlent une certaine structure dans les horizons d'accumulation.

Les variations dues au régime de drainage se limitent le plus souvent à celles du coefficient de saturation et au pH. tous deux plus élevés dans les sols en position basse. Ces derniers peuvent aussi être plus riches en matière organique.

Les variations dues au matériau sont essentiellement, celles des taux d'éléments fins et sesquioxydes; la formation la plus pauvre étant celle de Malwa la plus riche celle de Bande. Dans les ergs orientés les taux dépendent de la nature et de la plus ou moins grande proximité de la roche sous jacente; on a constaté en effet un accroissement parallèle en fer et éléments fins pour les

roches suivantes, classées par ordre d'action décroissant : grés argileux du continental hamadien, granites alcalins, roches métamorphiques (surtout quartzites à minerais). Dans la même optique on peut considérer que c'est aux grés à sesquioxydes du Continental Terminal sous jacent que la formation de Bande doit se relative richesse en fer.

#### 48-3 Extension

La limite pluviométrique Nord de ces sols est de 450mm dans les ergs orientés et de 525mm dans la cuvette tchadienne (Malwa). Les limites intérieures de cette zone, fermée au Sud par la frontière de Nigeria, sont toutes de nature morphologique.

Le type le plus courant de végétation est une savane arborée à Combrétacées avec jachère à Guiéra sur les ergs orientés, une savane arborée à *Ficus* *pis africana* avec jachère à *Bauhinia reticulata* sur les formations de Bande et Malwa, des restes de savane arborée à *Butyrospermum Parkii* et *Parkia biglobosa* dans le Sud (650mm).

#### 48-4 Utilisation

A chacune des trois principales formations sableuses correspond un secteur arachidier : Zinder-Droum (ergs orientés), Magaria-Matameye-Bande (formation de Bande), Magaria-Dungass-Malwa (formation de Malwa). Ces trois aires ont en commun de faibles taux d'azote (0,12 à 0,24‰), mais correctement équilibrés par le phosphore (0,14 à 0,55‰) teneurs correspondant à une fertilité basse. Les terres les moins bonnes sont celles de Zinder, plus pauvres en bases (profils désaturés), souvent érodées (au contact des granites, des roches métamorphiques). Les meilleures sont celles de Malwa, surtout parce que les profils de type brun, plus organiques, dominant; cependant la partie située à l'Est de Dungass manque nettement de potasse (0,02 méq/100 g contre 0,08 à 0,1 normalement); les sols de Bande ont également ce défaut, à un moindre degré (0,04 méq). Mais pratiquement c'est la pluviométrie qui est le facteur décisif, et elle joue dans le même temps la plus sèche (Zinder).

Le principal effort d'amélioration doit porter sur la reconstitution du stock organique, dans les régions de Zinder, Bande Matameye, et à l'Est de Dungass.

C-5 LES SOLS NON HYDROMORPHES DE LA COUVERTURE SABLEUSE DU NIGER ORIENTAL. CONCLUSIONS.

C5-I MORPHOLOGIE

Les sols bien drainés de la couverture sableuse sont tous formés d'horizons rougis surmontés de niveaux superficiels plus ou moins décolorés; mais que l'aspect de ces derniers dépend surtout de la pluviométrie locale, la morphologie des horizons rubéfiés est influencée par l'histoire pédologique et les variations texturales du matériau.

5I-I Couleur et Profondeur

La plupart des horizons de surface des sols subarides brun rouge sont brun ocre ou brun jaune (ex : 7,5 YR 5/4) sur une épaisseur moyenne de 10 cm, les sols ferrugineux peu lessivés peu évolués brun jaune (ex : 7,5 YR 6/4) sur 20 cm, les sols ferrugineux peu lessivés gris brun (ex : 10 YR 6/4) sur 25 cm (tableaux 23 et 28'). Le rougissement du profil passe par un maximum pour décroître ensuite très progressivement vers la base; le tableau ci-dessous résume les profondeurs moyennes de ce maximum :

TABLEAU 29

PROFONDEUR MOYENNE DE LA ZONE LA PLUS ROUGIE DES SOLS BIEN DRAINÉS DE LA COUVERTURE SABLEUSE

FORMATIONS SABLEUSES	SOLS SUBARIDES BRUN ROUGE		SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVÉS	
	Peu évolués	Evolués	Peu évolués	Evolués
MANGA-KORAMA-MALWA	45 cm	X	60 cm	65 cm
Ergs Orientés	X	75cm	75 cm	105 cm

Elle croît donc des sols subarides aux sols ferrugineux. Il en est de même de la profondeur totale du profil, plus difficile à apprécier. Elle est en général de l'ordre de deux mètres, les extrêmes se rencontrant d'une part dans les sols brun rouges les plus jeunes du Manga (140 cm), d'autre part dans les sols ferrugineux peu lessivés de mi pente sur ergs orientés, qui dépassent trois mètres. La couleur même des horizons rougis n'apporte pas de renseignements aussi précis sur la nature du sol que celle de la surface. Aucune nuance n'étant spécifique d'une catégorie de sol, mais leur étude suggère les règles de variations suivantes

Les sols les plus rouges se forment dans les climats les plus humides; en effet les sols ferrugineux les plus rubéfiés sont ceux du Sud.

Les sols les plus anciens sont les plus rouges, ce que montre l'étude comparée des sols brun rouge; dans leur cas cela peut être considérée comme une conséquence de la première règle, la rubéfaction étant un héritage de climat plus humide conservé en climat plus sec.

L'homogénéité de la couleur des horizons est plus grande dans les sols brun rouge que dans les sols ferrugineux où, en particulier, la base des horizons lessivés et le sommet des horizons rougis montrent une répartition inégale de la pigmentation (raies, marbrures), et forment une zone de transition de teinte moyenne ocre et d'une épaisseur d'environ 20 cm.

#### 5I-2 Structure

La structure consiste surtout en variations de porosité, laquelle montre deux minima, l'un en surface, l'autre en profondeur; le maximum est situé sous l'horizon humifère; il est très développé dans les sols ferrugineux, où il s'accompagne parfois, dans les textures pas trop légères, d'un débit polyédrique pouvant également affecter le sommet de l'horizon rougi. La cohésion varie de façon parallèle, les horizons profonds étant toujours plus fermes que le matériau et pourvus, dans les sols ferrugineux, de noyaux durcis.

#### 5I-3 Variations topographiques

Les chaînes topographiques de ces sols sableux ont les caractères suivants :

- les sols les plus rougis sont à mi-pente; ils apparaissent plus évolués que les sols du sommet, souvent rajeunis.

- les sols de bas de pente ont des horizons profonds de teinte de plus en plus foncée et neutre, contrastant moins fortement avec les horizons décolorés supérieurs, eux-mêmes plus épais; mais alors qu'en milieu subaride le faciès "brun", homogène, est le plus commun, en milieu ferrugineux il est remplacé par des sols à zone décolorée très épaisse, donc de teinte générale grise, où les horizons d'accumulation se divisent en raies.

#### 5I-4 Variations régionales

Des augmentations locales des taux d'éléments fins et de sesquioxydes entraînent une rubéfaction plus poussée et une structure plus développée. Elles prouvent une action du substrat sur la couverture sableuse, lorsque cette dernière n'était pas trop épaisse, par mélange mécanique ou imprégnation. Tels sont les cas des sols au contact de granites et roches métamorphiques altérés ou des grès tendres du Continental Hamadien et Terminal (Bande). Elles sont parfois simplement dues à la nature du matériau lui-même (sables alluviaux du Kadzell).

#### 5I-5 Variations chronologiques

La carte des sols montre que certains types d'horizons profonds, définis par leur structure et leur couleur, sont plus liés à un modelé ou à une formation sableuse particulière qu'au climat local. Bien qu'ils soient confinés au Nord de l'isohyète 250mm, les sols brun rouge des ergs orientés réticulés ont la forte rubéfaction, l'amorce de structure polyédrique, les raies présentent dans toutes les positions de drainage, des sols ferrugineux peu lessivés observés près de Zinder, avec 530mm de pluies, sur un modelé comparable. Sur les ergs orientés transversaux et les cordons longitudinaux le rougissement est encore très net, mais la structure peu différenciée, les raies absentes des sites bien drainés, en dépit d'un étalement en latitude faisant varier la pluviométrie de moins de 250mm à 600mm. Dans les sols de la formation sableuse fine du Manga et celle de la Korama, la structure est pratiquement particulière, la rubéfaction faible, sous des pluviométries comparables aux précédentes. L'étude de la répartition des sols brun rouge a montré que ces trois étapes d'évolution morphologique décroissante coïncidaient avec trois stades de mise en place et de remaniement de la couverture

sableuse d'âge également décroissant, précédant chacun une phase d'évolution pédologique correspondant peut être à trois climats voisins mais d'humidité décroissante. Ces trois ensembles ont connu des reprises d'action éoliennes, beaucoup plus localisées et récentes, d'autant plus sensibles que la formation était elle-même plus jeune, dont les traces sont formées par des buttes à sols peu évolués, parfois anthropiques, surimposées aux parties hautes de modelé ancien.

## C5-2 PROPRIETES ANALYTIQUES

### 52-I Données générales

Nous n'avons pas trouvé de différences systématiques dans les taux superficiels a des sols subarides et ferrugineux, les différences relevées étant soit dues au mode d'exploitation du sol (appauvrissement des sols archidiars), soit purement régionales (ex : sols mieux pourvus du Kadzell, de Bande); ils sont faibles et compris le plus souvent entre 0,2 et 0,3%. La répartition de la matière organique a partout la même allure et permet de diviser le profil en deux parties :

- le sommet, où les taux décroissent rapidement.
- la base, où ils diminuent très lentement vers des valeurs infimes.

La partie supérieure est formée des horizons décrits comme humifères, du fait de leur teinte neutre et foncée, et des horizons de transition vers les horizons rougis; sa base coïncide avec à peu près avec le maximum de rubéfaction; elle est située vers 40-50cm dans les sols brun rouge, et vers 70 cm dans les sols ferrugineux peu lessivés. Il est important de constater que les sols ferrugineux sont alors plus riches en matière carbonée dans les horizons moyens, situés entre 10 et 60 cm; ce fait concorde avec la plus grande épaisseur des horizons décolorés (à la fois lessivés et organique). Les rapports C/N sont inférieurs à 10, en moyenne, dès la surface des sols brun rouge; cette valeur est légèrement dépassée dans les sols ferrugineux, où toutefois les maxima ne dépassent pas 14. Le C/N diminue également vers la base de tous les profils, fait pédologique tout à fait général. La régie banale qui veut que la matière organique soit d'autant mieux décomposée qu'elle est plus rare est ainsi vérifiée, à la fois par la répartition géographique et la distribution verticale de ces valeurs.



Le taux d'éléments fins est plus élevé dans les horizons rougis que dans le matériau, quelque soit le type de sol. Mais le rapport du taux maximum au taux du matériau, qui pourrait mesurer le degré d'évolution des sols, ne présente pas de variations interprétables parce que le matériau, mal défini sur le terrain, est rarement vierge de toute modification pédologique; en éliminant les valeurs inférieures à celles des sols les plus jeunes (Manga), valeurs correspondant toutes à des sols dont la profondeur réelle (plus de trois mètres) ne pouvait s'apprécier que sur des coupes dont l'épaisseur excédait les possibilités normales de prospection, on constate que ce rapport est compris entre 2 et 1,8 en zone ferrugineuse et serait de 1,7 en zone subaride. Les horizons supérieurs sont toujours appauvris en argile et limon par rapport aux horizons rougis, à l'exception remarquable des brun rouge peu évolués du Manga; le rapport d'appauvrissement décroît très régulièrement des brun rouge (1 à 0,6) aux sols ferrugineux (0,45 à 0,4) et, dans chaque sous groupe, des sols peu évolués aux sols évolués.

Les taux de fer libre et de fer total sont quantitativement liés aux précédents dans le profil et connaissent des variations parallèles (voir pour le matériau I° partie IIB233; ainsi le rapport d'appauvrissement superficiel passe de 1 à 0,7 dans les brun rouge, et de 0,5 à 0,6 dans les sols ferrugineux; de même le rapport d'enrichissement des horizons rougis croît de 1,6-1,8 dans les brun rouge à 2,0-2,5 dans les ferrugineux, avec les mêmes réserves que précédemment.

Le rapport du fer libre au fer total croît, en surface, des sols brun rouge aux sols ferrugineux peu lessivés, passant de 45-60% à 60-70%. Il est toujours plus élevé en profondeur, et cela d'autant plus que la rubéfaction est plus prononcée : 40-50% dans les sols les moins évolués du Manga (7,5 YR), 70 à 80% dans les sols ferrugineux de Bande et les brun rouge des ergs réticulés (2,5 YR).

Le pH des horizons de surface décroît très régulièrement lorsque la pluviométrie augmente (TABLEAU 30); voisin de 7 dans les sols subarides il descend à 5,8 dans les sols ferrugineux des ergs orientés; le coefficient de saturation en bases décroît parallèlement de 100 à 55. La pauvreté en bases échangeables des sols ferrugineux peu lessivés (1 à 1,7 méq/100 g) s'explique à la fois par leur fort appauvrissement en éléments fins et leur désaturation; inversement certains brun rouge en renferment 3 méq/100g. Les variations en profondeur de ces trois grandeurs, pH, coefficient de saturation et bases échangeables, sont de deux types :

- augmentation régulière vers la base du profil, cas exclusif des sols jeunes du Manga.

- un maximum dans l'horizon rougi, deux minima, en surface et dans le matériau, cas de tous les sols ferrugineux peu lessivés et des brun rouge évolués.

- L'équilibre des cations donne habituellement l'ordre de décroissance Ca, Mg, Na ou K, avec des variantes régionales dues au matériau dont la plus importante est la déficience en K et Na des sols du Manga.

L'analyse ne décèle un début de cimentation des sables que dans les horizons rougis des sols ferrugineux et brun rouge évolués.

Comparés aux sols subarides brun rouge, les sols ferrugineux peu lessivés sont plus profondément humifères, plus acides et désaturés; le fer y est plus mobile et se concentre plus fortement dans les horizons rougis en même temps que les éléments fins.

TABLEAU 30

VARIATION DU PH DE L'HORIZON SUPERIEUR DES SOLS SABLEUX BIEN DRAINES AU NIGER ORIENTAL

PLUVIOMETRIE en mm	pH		
	MAXIMUM	MINIMUM	MOYENNE
Moins de 250	8	7	7,60
250-300	7,4	6,8	7,05
300-350	7,4	6,2	7,00
350-400	7,4	6,3	6,80
400-450	7,5	5,5	6,55
450-500	7,3	6,0	6,70
500-550	6,6	5,4	6,10
550-600	6,6	5,6	6,15
600-650	6,5	6,2	6,30

### 52-2 Variations Topographiques

Les variations dues à un drainage vertical réduit (sols bruns IIB42 et IIB43) se résument à une augmentation du taux de matière organique, du C/N, du pH, modifications pouvant ne pas exister simultanément et affectant surtout les chaînes à brun rouge.

Le lessivage oblique favorise la formation de raies, formées par la concentration d'éléments fins, sesquioxydes, matière organique, dans des plans plus poreux de la stratification des sables.

### 52-3 Variations géographiques

Seules certaines caractéristiques des horizons de surface ont une distribution géographique probablement déterminée par la pluviométrie : épais sur totale des horizons rougis, profonds, sont influencées par le degré d'évolution morphologique déterminé par l'âge des séries et le climat local, tous deux agissant dans le même sens : plus un horizon rougi est ancien ou situé en milieu plus humide, plus la concentration en éléments fins, bases, y sont importantes, plus le rapport fer libre sur fer total y est élevé.

Au fur et à mesure des remaniements éoliens successifs on constate un appauvrissement progressif des sables en éléments fins et sesquioxydes, si bien que les matériaux les plus récents sont également les moins propres à favoriser la différenciation des profils.

De nombreuses variations régionales sont provoquées par l'influence du substrat sur la couverture sableuse ou à la nature de cette dernière; elles portent sur le taux d'éléments fins du matériau et corrélativement de sesquioxydes, bases échangeables, sur le rapport Na/K (grés Hamadiens), le pH; pour ce dernier on relève une curieuse augmentation lorsque le sol est situé sur une ancienne ligne de rivage du lac Tchad (Tableau 3I).

## TABLEAU SYNOPTIQUE DU pH DES HORIZONS de SURFACE

251

ROCHE SUPPORT		L'OUVERTURE SABLEUSE CONTINENTALE			SABLES DE LA CUVETTE TCHADIENNE			
		Richesse en Bases croissantes -----			LOCALISATION	KADZELL	ANCIENS FONDS	RIVAGE
		GRES	GRANITES ROCHES METAMORPHIQUES	GRES CALCAIRES ARGILES DU DAMERGOU				
VERS UNE EVOLUTION CROISSANTE	BRUNS PEU EVOLUES							7,8
	BRUNS					6,9		7,4
	BRUN ROUGE JEUNES						6,8	7,2
	BRUN ROUGE	6,9		7,3		6,5		6,8
	PEU LESSIVES JEUNES	6,1					6,4	
	PEU LESSIVES	5,8	6,2 à 6,6				6,25	
	LESSI- VES	6,0						

C5-3 INTERPRETATIONS

La pédogenèse des sols subarides brun rouge est une atténuation de celle des sols ferrugineux tropicaux lessivés, due à une réduction progressive de la pluviométrie. Toutes deux sont formées de plusieurs processus, dont les effets analytiques et morphologiques apparaissent successivement dans l'ordre suivant :

I- accumulation de matière organique (A) et augmentation des taux d'éléments fins et de sesquioxydes dans le profil (B); ex : sols bruns peu évolués du Tal

II- A + B + rougissement (C) : sols brun rouge peu évolués du Manga.

III- A + B + C + concentration des éléments fins et du fer dans les horizons rougis (D) gris; ex : sols brun rouge des ergs orientés transversaux.

IV - A + B + C + décoloration superficielle (E) + désaturation du profil (F); ex : sols ferrugineux tropicaux peu lessivés évolués et peu évolués.

Le passage du stade I au stade IV correspond au Niger Central à une augmentation soit de l'âge soit de la pluviométrie; l'intensité de chaque processus (A,B,...) pris isolément augmente d'une étape à l'autre dans une mesure parfois influencée par la richesse du matériau, si bien que chaque stade est caractérisé par un ou plusieurs types d'horizons supérieurs et inférieurs. Ces horizons sont les suivants, classés par ordre d'évolution croissant :

HORIZONS SUPERIEURSHORIZONS INFERIEURS

TEINTE	pH moyen	Aspect général	Teinte	Fer libre/ Fer total
SI brun	plus de 7	PI non rougi, non structuré	Brune	40-50
S2 brun ocre	7	P2 peu rougi, non structuré	7,5 YR	40-50
S3 brun jaune	moins de 6,5	P3 rougi, peu structuré	5 YR	60-80
S4 gris brun	moins de 6,3	P4 rougi, structuré	5-2,5YR	70-90

Les correspondances normales entre les stades d'évolution, les aspects morphologiques définis ci-dessus, la classification, sont les suivantes :

- au stade I, SIPI, sols bruns
- au stade II, S2P2, sols brun rouge peu évolués
- au stade III, S2P3, sols brun rouge
- au stade IV, S3P3, sols ferrugineux peu lessivés peu évolués, S4P3 et S4P4, sols ferrugineux peu lessivés.

Le processus D est une conséquence du lessivage des éléments fins et du fer. Cependant il ne peut suffire à lui seul à en expliquer la répartition dans les profils, laquelle ont contribué le lessivage oblique, localement, et le décapage des horizons supérieurs, dans tous les cas.

La conséquence la plus commune de la réduction du lessivage vertical est la substitution de la rubéfaction par un assombrissement prononcé. Il est probable que l'aspect "brun" des sols de la terrasse de Seyam a été accentué par ce processus

Dans la zone cartographiée seule la répartition des horizons supérieurs est purement zonale, c'est-à-dire dépendant de celle des facteurs climatiques. Les horizons profonds conservent des traits acquis à des époques antérieures plus humides et associés aux formations sableuse. Cet héritage est d'autant plus perceptible qu'il est observé dans un lieu actuellement plus sec et qu'il est lui-même plus ancien. Le premier point, joint à la zonalité des horizons de surface, montre que les horizons profonds des sols sableux du Niger Oriental sont stables en milieu plus aride que celui de leur formation, alors que les horizons supérieurs doivent réaliser un nouvel équilibre, probablement par érosion non compensée par un approfondissement du profil dans les régions les plus sèches. Le second point est une conséquence à la fois d'une durée d'évolution plus longue et de la richesse supérieure des matériaux les plus anciennement mis en place, et a bénéficié de la tendance des fluctuations climatiques vers une aridité toujours croissante. Le meilleur exemple de sols à caractères hérités est celui des sols brun rouge des ergs orientés réticulés, de type S2P4 qui sont d'anciens sols ferrugineux peu lessivés.

La possibilité de dater les principales formations sableuses (I° partie IIC2) ainsi que les surfaces successivement et définitivement exondées de la cuvette tchadienne permet d'évaluer la durée totale de l'évolution des sols qu'elles portent, évolution dont la vitesse et même la nature a pu varier. On peut réunir les sols en trois ensembles contemporains.

Le plus vieux s'est développé sur l'erg ancien (erg I), dont la mise en place au Paléolithique moyen s'est achevée il y a plus de 20.000 ans. L'horizon caractéristique est de type P4, les types de sols principaux S2P4 (sols brun rouge des ergs réticulés) et S4P4 (sols ferrugineux peu lessivés sur formation sableuse des ergs orientés). Le territoire correspondant de la cuvette tchadienne est compris entre les cotes 370 et 400; l'horizon caractéristique est de type P3, le type de sol principal S2P3 (sols brun rouge des ergs transversaux de bordure de la cuvette tchadienne).

Le second correspond au second erg, formé aux dépens du précédent vers 7000 au plus tôt § II. Il se présente, sur le continent, sous forme de petits ergs transversaux localisés dans les vallées (Myria) ou au centre d'un massif dunaire ancien (Garagoumza), ou encore d'éléments isolés et remaniés de l'erg I, tels les cordons longitudinaux, sensu stricto. L'horizon caractéristique est de type P3, et les types de sols principaux S2P3 (sols brun rouge de cordons), S3P3 (sols ferrugineux peu lessivés et peu évolués sur formation sableuse des ergs orientés). Le territoire correspondant de la cuvette tchadienne est compris entre les cotes 340 et 370, outre le bassin ensablé de la Korama. L'horizon caractéristique est de type P2 et les sols principaux S2P2 (sols brun rouge peu évolués du Manga) S3P2 (sols ferrugineux peu lessivés peu évolués de l'Ouest du Mounio), S3 et S4P2 (sols ferrugineux peu lessivés jeunes de la Korama).

§III. Le troisième correspond, sur le continent, à tous les épisodes de reprise éolienne, actuellement indiscernables, qui s'étaient entre 5000 et 1000 ont laissé de petites buttes coiffant les modelés anciens à sols jeunes indéfinissables (XPI) souvent anthropiques. Dans la cuvette on peut définir avec plus de précision cet erg III comme correspondant à la formation du cordon de Tal et de la terrasse de Seyam, commencée vers 5000, et portant des sols bruns (SIPI). De petites phases arides ont parsemé le Kadzell de buttes à sols comparables; la plus récente aurait vu, vers 1100, le début de la construction du cordon du lac, à sols de même type mais moins épais (50 cm contre 120).

Les sols de la formation sableuse de Bande, dont la morphologie est de type S4P4, sont vraisemblablement contemporains des sols de l'erg I. Mais les grès continentaux qui la supporte ont conservé des restes de sols beaucoup plus anciens, sous forme de placages argilo-sableux pauvres en limon, rouge ruf, extrêmement riches en fer libre (voir fiche NA 56 DOGO),

Bien que très récents, puisque postérieurs à la terrasse de Seyam (erg III), les sols rouges du kadzell sont de type S2P4 (très rougis et lessivés). Leur matériau, riche en fer et éléments fins, échappe à la succession de reprises éoliennes car il est d'origine fluviatile; c'est probablement dans la nature et le drainage de ce dépôt alluvial que réside la cause d'une différenciation aussi rapide, sans que nous puissions préciser davantage.

#### C5-4 PROPRIETES AGRONOMIQUES

La couverture sableuse fournit l'essentiel des terres destinées aux cultures vivrières et la totalité de celles qui conviennent à l'arachide.

Le facteur essentiel de répartition des cultures est la pluviométrie, dont dépend également celle des horizons de surface; il existe donc une assez bonne corrélation entre les grandes "ceintures" agricoles et les principales unités de la classification. Du Sud au Nord se succèdent :

- à moins de 300mm de pluies, la zone à vocation pastorale, dont les sols sont des brun rouge à horizon superficiel brun ocre (S2).

- de 300 à 600mm, c'est la zone à pénicillaire, niébé; le sorgho et l'arachide s'y cantonne dans les bas fonds; les sols sont des sols ferrugineux peu lessivés brun jaune en surface (S3) jusqu'à 500mm environ, puis des sols peu lessivés évolués gris brun (S4).

- au-delà de 600mm commence la zone arachidière proprement dite, où tous les sols sont ferrugineux peu lessivés évolués (S4) au Niger Oriental.



Le facteur édaphique intervient ensuite, par l'intermédiaire du taux en éléments fins du sol, dont dépend la richesse minérale. Il varie, sur de grandes distances, parallèlement à l'âge et au degré d'évolution des horizons profonds. C'est ainsi que les sols les plus récents, formés sur l'erg II ou les surfaces équivalentes de la cuvette tchadienne, à horizons profonds P3 et P2, très peu ou pas structurés, sont à peu près inutilisables dans le système agronomique traditionnel. Ils sont chimiquement pauvres et extrêmement sensibles à l'érosion éolienne provoquée par la mise en culture. Ce sont des terrains de parcours, ne supportant que des cultures à très longs jachères où la vie agricole se concentre en fait dans fonds. Tels sont les sols ferrugineux peu lessivés peu évolués du Goulbi N'KABA, des cordons longitudinaux (Garagoumza), de la vallée de la Korama, de l'Ouest du Mounio, et les sols brun rouge peu évolués du Manga. Les sols de l'erg III, soit pratiquement ceux du Tal et de la terrasse de Seyam, ont les mêmes défaut, mais accrus, au point d'offrir de vastes surfaces à sables vifs. Inversement, certains sols mieux pourvus que la moyenne constituent des terroirs particulièrement recherchées : ce sont les sols brun rouge du Kadzell, les sols ferrugineux peu lessivés formés à proximité de granites, roches métamorphiques, les sols de Bandé.

La principale faiblesse de l'ensemble de ces sols est la pauvreté en matière organique, qui doit être corrigée partout. Les premiers efforts en ce sens auraient le plus de chances de réussir dans le Sud, sur les sols ferrugineux de Bandé et de la région Tinkim, Dungass, Malwa. La lutte antiérosive est nécessaire sur les sols peu évolués de la région Alkamari-Adebour (association à sols à croûte saline), les sols ferrugineux peu lessivés peu évolués de l'Ouest du Mounio, de la Korama et pour la seconde, les sols ferrugineux peu lessivés sur granites de Zinder, les sols brun rouge du Kadzell. Pour les applications pratiques, les résultats acquis au Sénégal par le C.R.A. de Bambey peuvent être extrapolés de la façon suivante :

- 1° Points d'essai de la région de Louga (Sen) : valables pour les sols ferrugineux peu lessivés peu évolués de l'association à sols hydromorphes sur grès argileux (région de Palankou - Bakimaram) et les sols brun rouge peu évolués (en fait dégradés) de l'association à sols hydromorphes sur grès (région Bakimaram-Yachi).

- 2° Points d'essai de Bambey (Sén) : valables pour les sols ferrugineux peu lessivés des ergs orientés (région comprise entre Zinder-Takiéta et la Korama).

LES VERTISOIS

---

### III.- LES VERTISOLS

#### IIIA - INTRODUCTION

#### IIIAI DEFINITION ET PROPRIETES GENERALES

##### AII- DEFINITION

Les vertisols sont des sols dont la structure et le plus souvent, l'aspect de surface, portent les traces d'efforts mécaniques. Ces actions sont exercées lors des successions d'humectation et de dessiccation des profils et ont leur origine dans la présence d'argiles gonflantes dans les éléments texturaux.

##### AI2 MODE DE FORMATION

La dessiccation provoque un retrait important qui fissure la masse entière du sol en la divisant en mottes dont la taille et l'agencement se modifient verticalement car ils dépendent de grandeurs variant avec la profondeur : variation d'humidité, vitesse de cette dernière, pression. Cette fragmentation permet un tassement partiel, souvent accentué par des chutes de débris dans les fissures verticales, généralement entraînés par le ruissellement des premières pluies. La réhumectation provoque un gonflement des éléments structuraux tendant à la prise en masse du profil. Les réactions des fragments voisins, accrues par la compacité de l'arrangement du au tassement, la pression exercée par le poids même du sol, engendrent des contraintes dont les traces morphologiques varient selon la manière dont elles ont été annulées :

- la masse entière du profil peut être déformée par des mouvements convectifs remontant les horizons profonds; la surface est déformée en domes au droit des axes ascendant séparées par des dépressions circulaires; ce processus justifie le nom de "vertisols"

et engendre le paysage caractéristique de "gilgai", proprement dit dont il existe de nombreuses variétés nées de l'interférence du ruissellement.

- de fortes compressions peuvent amener la rupture des éléments structuraux selon des plans irréguliers généralement obliques sur la verticale; elles provoquent également le laminage de mottes coincées dans des fissures.
- les mouvements relatifs lissent et strient les surfaces en contact qui prennent l'aspect de "surfaces de glissement", affectant le plus souvent les plans de rupture.

La structure d'un vertisol dépend donc de son humidité. La partie supérieure des profils, ouverts pendant la saison sèche, est surtout marquée par le retrait, alors que la base conserve les traces du gonflement. Les effets morphologiques d'une phase ne sont donc pas complètement effacées par celles qui lui succèdent; en outre, la localisation sus-indiquée est la conséquence de variations d'humidité plus rapides et importantes en surface, et de pression plus fortes en profondeur.

### A13 CLASSIFICATION

Les vertisols étaient jadis nommés "argiles noires" et classés parmi les sols hydromorphes. En effet, leur texture, très généralement argileuse, leur donne une faible perméabilité et favorise l'engorgement du profil que dénonce leur teinte généralement sombre et divers traits due à l'hydromorphie. Ils forment actuellement la classe des Vertisols et Paravertisols; elle a été divisée en deux sous classes, définies par deux origines du matériau, chacune d'elle correspondant à peu près à un type de situation topographique, donc de drainage.

La première sous classe est celle des Vertisols Lithomorphes, formés directement sur une roche, qu'elle soit elle-même argileuse ou donne des produits d'altération argileux, sur des pentes modérées n'autorisant que de brèves périodes d'engorgement.

La seconde est celle des Vertisols Hydromorphes, développés sur des dépôts argileux, l'argile pouvant être contemporaine de l'apport ou formée postérieurement, sur des surfaces planes et relativement basses, autorisant de longues périodes d'engorgement. Les effets de l'hydromorphie y sont plus sensibles que dans la première sous classe : teintes plus foncées, structures plus larges, niveaux à taches ou concrétions fréquents, etc....

Chacune de ces sous-classes est divisée en deux groupes de la même façon définis par la finesse de la structure en surface; les sols les plus organiques, gonflants, riches en calcium, connaissant les variations d'humidité les plus intenses et rapides, sont plus finement structurés que les autres.

#### A I4 RELATIONS AVEC LE CLIMAT ET LA VEGETATION

Les vertisols sont caractéristiques des climats tropicaux à saison sèche bien marquée. En Afrique Nord Equatoriale leur zone optimum de développement se situe environ vers 900-1000 mm de pluies, mais ils existent dès les régions Sahariennes et sont très abondants dans le Sahel. C'est ainsi qu'il s'en forme encore dans le DAMERGOU, avec moins de 250mm.

La végétation doit, pour s'y développer, pouvoir s'accomoder de fortes variations des taux d'humidité et d'air du sol, allant de conditions semi-asphyxiques à une extrême siccité, ainsi que teneurs en sels souvent élevées. Les espèces Sahéliennes y sont particulièrement adaptées; elles colonisent facilement ces sols qui leur permettent de déborder largement vers le Sud leur aire d'extension normale; citons : Acacia flava, Acacia seyal, Cordia gharaf, Grewia tenax. Les formations sont souvent de type contracté, à cause des inégalités d'humectation et de drainage dues à un relief superficiel (dit microrelief) inégal.

#### AI5 LES VERTISOLS DU NIGER ORIENTAL

##### I5I-Classification

Ils appartiennent à deux groupes :

- les Vertisols lithomorphes à structure fine dès la surface
- les Vertisols hydromorphes à structure large dès la surface.

auxquels s'ajoute une unité intermédiaire, celle des Vertisols d'Origine Mixte, dont le type de drainage est celui des Vertisols Hydromorphes, et l'origine celle des Vertisols Lithomorphes.

### I52- Répartition

Les Vertisols Lithomorphes et les Vertisols d'Origine Mixte s'observent exclusivement dans les massifs du DAMERGOU, du MOUNIO, du DAMAGARAM, qui sont les seuls à renfermer des roches, ou des matériaux, riches en argiles gonflantes, (ou encore à forte capacité d'échange, ces deux propriétés croissant simultanément). On ne les observe pas sur les grés continentaux (Hamadien et Continental Terminal). Leurs débris, ainsi que ceux de leurs matériaux, arrachés par l'érosion et déposés dans les zones de décantation de cours d'eaux temporaires, contribuent à former une auréole de Vertisols Hydromorphes autour de ces massifs. Dans la cuvette tchadienne elle-même, ils se forment sur les faciès argileux des sédiments laissés par le lac au cours de ses "extensions". (cf. I° partie IIC 324) que leurs propriétés analytiques divisent en deux ensembles (cf. I° partie IIB234).

- les dépôts riches en limons, à forte capacité d'échange, mis en place au-dessus de la cote 300, par les extensions 2 et 3; les vertisols qui en dérivent sont localisés aux débouchés de la Korama et des cours d'eaux du Mounio, vers les cotes 370 et près de Maine Soroa vers 320 m.
- les dépôts peu limoneux à basse capacité d'échange, laissés entre le niveau actuel du lac et la cote 300, par l'extension 4 et les épisodes, postérieurs, évidemment influencés par la Komadougou, les vertisols correspondants sont dispersés dans le Kadzell et les plaines alluviales de la Komadougou.

### I53 - Sols voisins des vertisols - Critères pratiques de distinction

Certains sols à caractères vertisoliques ont été parfois exclus de cette classe, soit que les réactions mécaniques n'y soient pas suffisamment développées, soit qu'elles s'accompagnent de processus jugés plus importants et permettant une classification différente.

Nous avons considéré comme "Vertisolique" tout horizon portant les traces de gonflements se matérialisant par des plans de ruptures obliques et des faces de glissement en nombre suffisant pour réaliser la structure "cubique en plaquettes", formée par l'empilement de prismes à faces supérieures et inférieures obliques luisantes, striées. En effet, la fissuration par retrait, qui apparaît à peu près pour n'importe quelle texture, y compris celle des sables, est trop banale pour fournir un critère original. Cet horizon est toujours situé en profondeur et suffit pour fournir un critère original. Cet horizon est toujours situé en profondeur et suffit à définir un vertisol s'il est en continuité texturale avec le reste du profil. Les matériaux du Niger Oriental en permettant la formation ont les propriétés suivantes :

plus de 25% d'argile

capacité d'échange supérieure à 25 méq/100 g de sol

rapport argile sur limon supérieur à 2.

Lorsqu'une texture de ce type est légèrement "dégraissée" par des sables elle peut encore laisser apparaître des faces de glissement isolées, généralement accompagnées d'un fort retrait.

La structure est alors dite "tirsiforme" et nous l'avons observée dans deux cas :

- sur des sols de glaciais, où un drainage suffisant mais faible produit les "sols bruns tirsiformes" (cf IB44).

- sur des sols de zones basses, classés comme hydromorphes.

Lorsqu'elle est trop riche en limon, elle permet la conservation des structures acquises pendant la sédimentation, telles les plaquettes des limons, à faces supérieures et inférieures rugueuses et horizontales.

Certains sols à structures évidentes de vertisol subissent une rubéfaction superficielle en milieu subaride qui les a fait classer dans les "sols subarides brun rouge durcis de glaciais" (voir IC332 NA84 GANGARA); les horizons supérieurs des Vertisols ont des teintes variant normalement du brun jaune au gris foncé.

### III B ETUDE MONOGRAPHIQUE

#### IIIBI - LES VERTISOLS LITHOMORPHES ET LES VERTISOLS D'ORIGINE MIXTE

Ils ont en commun de procéder de l'altération d'une roche, argiles gypsifères du Damergou pour les premiers, roches métamorphiques calco-magnésienne du Damagaram-Mounio pour les seconds. Ils diffèrent par le drainage externe.

#### BII - LES VERTISOLS LITHOMORPHES A HORIZON DE SURFACE A STRUCTURE FINE SUR ARGILES GYSIFERES DU DAMERGOU.

##### III- Les "Bad lands" du Damergou

Au Sud de Tanout les glacis de type subarides recourent souvent des bancs d'argile sédimentaire riche en cristaux de gypse. Lorsque le pavage de grès ferrugineux ou de débris de cuirasse, qui recouvre habituellement ces pentes décapées par l'érosion en nappe et la déflation éolienne, disparaît, cette roche tendre est rapidement incisée par un réseau confluent de ravines séparant une succession de buttes résiduelles hautes de quelques mètres, à pentes raides et concaves.

En même temps la zone mouillée par les eaux d'infiltration subit un gonflement important partiellement irréversible car les pressions subies par l'argile en affleurement sont, lors des phases de dessiccation, évidemment inférieures à celles qui lui furent appliquées lors de sa lapidification. On observe alors un plissement des bancs, leur émiettement en fragments laminaires, la formation de plans se décollement parallèles à la surface qui, sous l'action de poussées internes, prend une forme convexe à proximité du fond des ravines. Le retrait produit de larges fissures verticales, parfois béantes, mais la plupart du temps masquées par un manteau de fins débris argileux, anguleux, qui couvre toutes les pentes.



La végétation se réduit à quelques Gommiers, Acacia seyal, Acacia Flava, se concentrant au long des ravines principales, et à un tapis discontinu d'annuelle Aristide adscensionis, Ctenium sp. quelques Cymbopogon Schoenanthus signalent les axes d'écoulement.

### II2 Morphologie

Le profil NA 7 CHIROUA a été observé à 25 Km au Sud de Tanout, sous une pluviométrie de 275 mm;

Profil observé à la partie inférieure du Glacis.

La surface est saupoudrée de sables éoliens brun clair reposant sur une fine croûte. La coupe, naturelle, est semée de très petits grains salins (sulfate de calcium) blancs. On note des fissures parallèles à la coupe produites par expansion latérale.

- 0-13 cm Brun olive à taches ocrées correspondant à des placages sableux sur les faces et à l'intérieur des mottes. Argileux, Structure cubique à faces soit rugueuses, soit lisses et légèrement striées, larges de 2cm, voisinant avec une structure à lamelles obliques; l'assemblage est très compact; la masse est parcourue de faces de glissement obliques (60° sur la verticale) espacées de 2cm environ; des fentes de retrait verticales tout les 20cm; cohésion très forte; porosité des mottes nulles; quelques racines se ramifiant à la surface des mottes.
- 13-46 cm Horizon bariolé de brun et de gris vert. Formé par le mélange de l'argile brune sableuse constituant l'horizon précédent et de débris conservant la couleur et la schistosité de l'argile sédimentaire sous jacente; ces plaquettes d'argile feuilletée gris vert ont une orientation quelconque dans les mottes et mesurent 1 à 2cm sur quelques millimètres d'épaisseur. Structure en plaquettes obliques de 10 sur 5cm, inclinées à 60°, à faces supérieures et inférieures lisses et striées. Cohésion excessive, pas de porosité, quelques racines dans les fissures.
- 46-78 cm Argile sédimentaire feuilletée, fortement fissurée et plissotée Gris vert, à taches ocre (fer) et noires (manganèse) se développant le long des fissures parsemées de petits grains calcaires.
- B - profil observé à la partie moyenne du glacis.

La surface est formée d'une croûte squameuse fissurée tous les 5 cm, friable, épaisse de 2-3 mm, formées de petits agrégats argileux et de rares grains de quartz.

0-15 cm jaune verdâtre (kaki), Code Expolaire E74 à 84; argileux, mais riche en grains de quartz bien intégrés à la masse. Structure fragmentaire cubique à faces irrégulières et rugueuses de 5 à 10 mm de large; la taille croît avec la profondeur; ces mottes sont bien agrégées entre elles; cohésion moyenne à forte; porosité des mottes très faible; horizon meuble jusqu'à 5-8 cm de profondeur; très riche en racines.

15 cm apparition des structures cubiques et en plaquettes, avec début de patine, à cohésion moyenne à forte, décrites ci-dessus (0-13 cm)

On observe sur ce profil les caractères communs à tous les vertisols du Niger Oriental suivante :

-superposition d'un type de structure cubique à faces rugueuses à une structure en "plaquettes obliques".

-accroissement de la taille des agrégats vers la base du profil.

-mottes très pauvres en pores, la porosité du profil étant uniquement celle de leur assemblage.

-intégration de produits ruisselés (ici des sables quartzeux) à la masse lors de phases de gonflement.

Il est caractérisé par les traits particuliers ci-dessous :

-Horizon supérieur très finement structuré (il a disparu du profil A par érosion).

-Teintes assez claires pour un vertisol, correspondant à un drainage interne supérieur à la moyenne.

- exsudation de sels (sulfates et carbonates), provenant du matériau

- profil peu épais, son développement étant freiné par érosion superficielle.

Ces sols sont jeunes et en équilibre avec le climat local, nous n'avons pas vu au Damergou de vertisols comparables aux argiles noires de l'Ader Douchi formées sur la même roche, d'épaisseur pouvant dépasser deux mètres, correspondant souvent à la transformation complète de tout le banc sédimentaire.

### II3 - Propriétés analytiques

La transformation de l'argile sédimentaire en sol n'en modifie qu'un petit nombre de caractères :

- des traces de matière organique à C/N très bas (6) apparaissent; leur taux ne dépasse pas 0,3% en surface.
- le rapport du fer libre au fer total augmente dans le profil vers la surface, où il atteint 66% (50% dans le matériau); il en est de même du rapport fer libre sur argile.
- la conductivité, l'extrait sec, les taux de sulfate soluble croissent vers la base du profil et sont maxima dans le matériau; il y a donc un léger lessivage des sels.
- la texture initiale est modifiée par des apports de sables dont le taux passe ainsi de 20% à 35%; ils sont amenés par le ruissellement et assez grossiers (mode de l'ordre de 0,3mm).

Les propriétés suivantes passent sans modifications du matériau au sol :

- la texture est argileuse (56%), avec un rapport argile/limon compris entre 3 et 5.
- les taux de phosphore total sont très élevés : 1,2‰.
- la capacité d'échange, élevée (25 à 28 méq/100g), correspond à environ 55 méq/100 g d'argile.
- elle est entièrement saturée; l'équilibre des cations montre un large excès de Ca, et une nette déficience en K; le sodium compte pour 7% du total, proportion qui, si elle ne suffit pas à "alcaliser" le complexe absorbant (il en faudrait 12%), est déjà appréciable et amène le taux de Na à 2 méq/100g.  
L'équilibre moyen est le suivant :  $Ca+Mg/Na+K = 11$   $Ca/Mg = 9$   $K/Na = 0,16$
- la conductivité de l'extrait salin (0,12mhos) atteint 40% de la valeur minimum définissant un sol légèrement salin (Riverside).
- le pH est alcalin, de l'ordre de 8; il peut s'expliquer par des traces de bicarbonate de calcium, le profil renfermant 0,5% de carbonate.

Soit en résumé : faible accumulation de matière organique, légère mobilisation du fer, amorce de lessivage des sels.

#### II4-Utilisation

Ces sols sont improductifs, ils ne portent ni cultures ni pâturages. Ce sont de simples surfaces de ruissellement, les sources d'eau, d'argile, de phosphore pour les vertisols hydromorphes des zones de décantation. Cela parce que la pluviométrie, insuffisante, leurs pentes, trop fortes, le réseau de ravines, fonctionnant comme autant de drains naturels, n'y permet pas la constitution d'un stock d'eau suffisant (200mm pour 50 cm de sol, dont 100 mm seulement utilisables, au plus). Leur fertilité naturelle ne peut être ainsi exploitée. Ils conviennent parfaitement à la culture du sorgho. Leur utilisation n'est possible que si l'on concentre et retient les eaux de ruissellement sur de petites surfaces. Dans l'Ader Douchi ce but est partiellement atteint par des lignes isohypses de pierres qui freinent également l'érosion en nappe. Dans le Damergou, où ces techniques ne sont pas appliquées, la pluviométrie, inférieure de 150mm, ne permettra de récupérer qu'une proportion inférieure de ces sols.

#### II5 - Relations avec les sols voisins- Cartographie -

Les bad lands sont dominés par des surfaces à pavage de grés ferrugineux portant des restes de cuirasses conglomératiques (I° partie IIC2), parsemés (cas de site de NA7) de lambeaux de la couverture sableuse fortement érodés : ils ne constituent eux mêmes qu'une partie des glacis qui, lorsqu'ils entaillent les grés fins crétacés, se couvrent d'un mince manteau colluvial rubéfié au sommet (sols peu évolués d'érosion intergrade vers les sols subarides de glacis). Parfois le vertisol est lui-même rougi, nous l'avons classé alors parmi les sols brun rouge de glacis. Les bas de pente des bad lande passent progressivement à de vastes plaines argileuses, à vertisols hydromorphes.

Les vertisols lithomorphes sont le terme principal d'une association à sols peu évolués d'érosion formant une auréole large de 20 km au Sud des plateaux cuirassés de Tanout. Cette surface est formé vers le Sud par une ceinture de vertisols hydromorphes localisés sur un axe de drainage coulant jadis vers l'Ouest.

BI2 - LES VERTISOLS D'ORIGINE MIXTE SUR ROCHES METAMORPHIQUES DU DAMAGARAM ET DU MOUNIO.

I21 - Les cuvettes argileuses du Damagaram et du Mounio.

Les deux massifs sont parsemés de dépressions à sols argileux dominées par des reliefs résiduels de roches dures, quartzites ou rhyolites. La formation de ces cuvettes est probablement due à une vitesse d'altération plus grande de leur soubassement (roches à gros grains) qui les rendait plus sensible aux attaques érosives du système hydrographique ancien qui s'y était installé. L'une d'elles a laissé pour trace un niveau de cailloux et de galets frustes de quartz recouvrant partiellement une surface tronquant la roche altérée (Damagaram); ce banc grossier a été recouvert d'un dépôt à argiles noires qu'il est alors facile de distinguer des vertisols lithomorphes qui ont continués leur développement directement sur la roche altérée. L'oblitération du réseau de drainage par la couverture sableuse éolienne a été facilitée par les structures "en anneau" des reliefs encaissants qui n'étaient percés que d'un petit nombre d'exutoire. Le ralentissement de drainage consécutif a orienté les caractères des sols argileux vers ceux des vertisols hydromorphes, homogénéisant ainsi la couverture pédologique de ces dépressions, formée de deux types principaux :

- des vertisols lithomorphes à drainage réduit
- des vertisols hydromorphes sur alluvions dérivant des précédents.

Les premiers se répartissent à la périphérie des précédents; le microrelief correspondant est pratiquement nul; les pentes, bien que faibles, y favorisent l'érosion en nappe dont la surface du sol montre les traces. La végétation est peu abondante, concentrée dans les axes de drainage. Les seconds, d'extension plus limitée, sont largement et profondément fissuré; la surface en est déformé par un léger pseudo-gilgai, formée par l'enfoncement de prismes verticaux lors du tassement. Ils sont couverts de bois armés et touffus d'Acacia seyal.

I22 - Morphologie

Le vertisol lithomorphe NA 36 GAFATI a été observé dans le Damagaram, au Km 13 de la piste Zinder Fermou, sous une pluviométrie de 530mm; en dépit d'une pente inférieure à 1%, le lissage superficiel par ruissellement est très marqué; l'alimentation en eau, mal assurée, ne permet que la croissance de quelques seyls

En surface croûte argileuse lisse dissimulant des fentes de retrait espacées de 40 cm et descendant jusqu'à 10 cm; quelques termitières (40 à 50cm).

- 0-25 cm IO YR 4/3; brun foncé, avec de rares ségrégations ocres entourant des cavités grisâtres; argileux; avec sables grossiers, graviers et cailloux de quartz; structure en plaquettes en surface (moins de 1 cm), devenant cubique et de plus en plus large vers la profondeur (2-3cm), en assemblages compact prismatique; patines irrégulièrement développées dès la surface; cohésion excessive; faible porosité tubulaire fine; enracinement assez fin, peu adhérent, médiocre.
- 25-60 cm IO YR 4/2; brun légèrement plus foncé; pas de ségrégations; des points blancs calcaires; argileux, riche en débris de feldspath et de micas; structure en plaquette obliques: 4 - 5 cm sur 10 cm, inclinaison moyenne 45°; en surfaces lissées et striées abondantes; assemblage grossièrement prismatique de plus en plus compact vers la base; cohésion excessive; porosité de même type; enracinement décroissant vers la base.
- 60-100 cm IO YR 4,5/4; brun plus clair, à nuance olivâtre; nombreux grains blancs; argileux, très riche en micas et feldspath; structure polyédrique en assemblage compact, la masse étant divisée par de très grandes faces de glissement mal dégagées, ne se recoupant pas pour former d'unités structurales; cohésion excessive; zone de compacité maximum; nodules calcaires de 1cm, irréguliers, blancs jaunâtre, à cassure brun clair à taches noires irrégulièrement réparties (tous les 4 à 5cm) encore quelques radicelles.
- 100-130 cm Micaschiste altéré, très riche en micas blancs nombreux nodules de 5mm et dépôts d'argile brune.

Il possède encore les caractères communs aux vertisols que nous avons énumérés à propos de NA7 CHIROUA: superposition des structures, variations de taille, etc..... Il en a acquis de nouveaux, dont un premier groupe est dû au ralentissement du drainage interne:

-les couleurs sont foncées, presque noires; la succession: horizon supérieur brun, horizons moyens noirâtres, horizons au contact de la roche brun olive, est des plus classiques, bien qu'inexpliquée dans le détail.

- la structure cubique superficielle est légèrement élargie et surtout est reprise dans une surstructure prismatique; cette dernière s'élargit puis disparaît en profondeur; la structure de l'horizon inférieur, polyédrique en assemblage compact et parcouru de faces de glissement isolées est typique d'un vertisol hydromorphe.

- le calcaire se concentre en éléments croissant de taille vers la base où des nodules se forment au contact de la source de calcium, la roche altérée.

La présence en surface d'une structure laminaire est due au ruissellement.

Le vertisol NB 35 LIKARIRI, observé à 22 Km au Sud Ouest de Gouré, dans une dépression au contact du Mounio et de la cuvette tchadienne, possède des caractères hydromorphes encore plus marqués que son microrelief accusé, laissait prévoir. Avec une pluviométrie de 430mm, il est recouvert d'une curieuse formation à Cordia gharaf et Acacia seyal, les premiers réfugiés sur les points hauts du modelé.

Aspect superficiel :

surface déformée par un pseudo-gilgai important (effondrements de prismes); réseau polygonal de fissures de 3cm de large en moyenne, pouvant atteindre 8cm, délimitant des prismes de 70 cm de diamètre, eux-même subdivisés en éléments de 10 cm; croûte grise recouvrant une couche meuble de petits aggrégats épaisse de 3 cm.

- 0 - 5 cm 7,5 YR 5/0; gris foncé; argileux; riche en nodules calcaires de 3mm, concrétions dures noires de 1 à 2mm, calcaires, concrétions ferrugineuses ocre, grains de quartz; structure polyédrique en assemblage très compact; surstructure prismatique; cohésion forte; très peu de pores.
- 5 - 30cm IOYR 3,5/I; gris plus foncé; argileux; mêmes nodules et concrétions, les concrétions ocres plus nombreuses; structure polyédrique à cubique de 3cm, plus fine dans les fissures; faces rugueuses; cohésion forte à moyenne; surstructure prismatique motteuse (10 cm); mottes finement poreuses.
- 30 - 75cm IOYR 3/2; brun grisâtre très foncé; argileux; amas et nodules calcaires blancs abondants, concrétions noires calcaires blancs abondantes et plus volumineuses; structure "cubique en plaquettes" à faces obliques, lissées, striées, de 3-4cm; assemblage très compact; surstructure à gros prismes (70cm); porosité très faible.

- 75-85 cm niveau riche en amas calcaires à toucher limoneux.
- 85 cm toit de la roche altérée (granites); nombreuses concrétions ocre, ferrugineuses, amas calcaire.

Sur ce profil, on peut observer :

- l'accentuation de l'assombrissement du profil.
- un développement supérieur des surstructures prismatiques, dont le développement correspond à un retrait de 20% (par rapport au volume maximum) à la partie supérieure (0-30cm, prismes de 10cm) et de 10% à la partie inférieure (30-85cm, prismes de 70cm)
- une accumulation du calcaire plus importante et d'aspect plus varié.
- un concrétionnement ferrugineux croissant vers la base du profil.

tous caractères dus à une accentuation de l'hydromorphie.

La compacité générale du profil, l'aspect confus des structures, se traduisant notamment par l'abondance des faces polyédriques, sont propres à cette série. L'abondance des carbonates est caractéristique des sols de bas de glaciis du Mounio.

### I23 Propriétés analytiques

Les caractères suivants, communs aux sols du Damagaram et du Mounio, sont acquis sous l'influence de la réduction du drainage :

- taux de matière organique accru, de l'ordre de 1% en surface, à C/N croissant avec l'hydromorphie (10 à 13 en surface).
- rapport fer libre sur fer total très élevé dans le profil (80 environ)
- accroissement de la conductivité et de l'extrait sec vers la base du profil encore plus marqués (doublent ou triplent, alors qu'ils ne croissaient que de quelques dixièmes dans le Damagaram).
- pH minimum dans l'horizon de surface, l'abaissement croissant avec l'hydromorphie (0,5 à 1 pH); il varie de 7 à 7,5; en profondeur il est toujours de l'ordre de 8, pH coïncident généralement avec la pré-



sence de carbonate de calcium.

- taux de carbonates élevés, croissant vers la base.

Les différences dans les propriétés suivantes sont imputables à des variations du matériau, essentiellement formé d'une argile à forte capacité d'échange (50-60 méq) et à rapport argile sur limon compris entre 3 et 5 :

- taux d'argile de 30-40% dans le Damagaram, 50-60% dans le Mounio

- équilibre des bases du Damagaram :

Ca + Mg/Na + K = 2I Ca/Mg = 5 K/Ma = I proportion du sodium :  
2% (Na/T) du Mounio

Ca + Mg/Na + K = 8,5 Ca/Mg = 5 K/Na = 0,2 Na/T : 8,5%

Les sols du Mounio sont donc nettement plus riches en sodium - le rapport fer libre sur argile est plus élevé dans le Damagaram : 0,3 contre 0,2.

- la stabilité structurale des sols du Damagaram est moyenne, celle des sols du Mounio médiocre (perméabilité 2-3cm/h contre 1cm/h); la plus grande richesse en sodium de ces derniers en est probablement responsable.
  - taux de carbonate de calcium plus forts dans le Mounio (6% en dehors de la zone de nodulation intense); à ce propos on note un fait curieux propre à tous ces sols : la présence de nodules ou même d'amas calcaires n'améliore pas la structure locale; en outre l'horizon de concentration maximum des carbonates est aussi le plus riche en sodium échangeable, et il semble bien que ce dernier soit seul actif.
- Ce sont des sols à fertilité moyenne, bien pourvus en phosphore.

#### I24 Utilisation

Ces sols ne fournissent qu'un pâturage précaire. Or, leurs propriétés en font d'excellents supports des cultures de décrue, les sols du Damagaram réunissent les avantages suivants :

- sites à priori favorables pour la mise en place de petites retenues (plaine de Gafati, de Dan Geza).
- propriétés analytiques satisfaisantes.
- pas de risques de salures.
- stabilité structurale exceptionnellement bonne pour des sols de ce type, admettant à la rigueur la culture du cotonnier

Les sols du Mounio ont une fertilité comparable, mais les sites semblent moins favorables, la pluviométrie y est moins forte, et surtout les taux de sodium, trop élevés, laissent craindre l'apparition de natron dans le cas d'une irrigation sans drainage. En effet, l'équilibre des bases d'un sol tel que NB 35 LIKARIRI approche en profondeur de celui d'un solonetz sodique et magnésien.

#### I24 - Relations avec les sols voisins et Cartographie

Les parties moyennes des glacis ceinturant ces dépressions sont fortement érodées dans le Damagaram et couvertes d'un pavage empruntant nombre de ses éléments aux niveaux à galets anciens. On y a noté des vertisols érodés et légèrement rubéfiés. Les parties hautes sont ensablées et portent des sols ferrugineux peu lessivés (cf. IIC45). Dans le Mounio les sols brun rouge durcis de glacis dominent sur les versants.

Nous n'avons fait qu'une unité de l'ensemble de ces sols; dans le Damagaram ce sont les types lithomorphes qui sont les plus abondants, et les types hydromorphes dans le Mounio.

#### IIB-2 LES VERTISOLS HYDROMORPHES

Ils se forment sur des dépôts argileux en position de mauvais drainage externe, et au Niger Oriental, appartiennent tous au groupe largement structuré dès la surface. Ce sont, en gros, les sols des plaines et des mares temporaires argileuses. Nous les avons divisés en groupement géographiquement bien définis mais dont l'unité morphologique et analytique est surtout faite par le matériau (familles). Ce sont :

a/- les vertisols des bassins (alluvions de cours d'eau temporaires)

a-I : les vertisols de l'auréole de plaines argileuses du Sud du Damergou.

a-2 : les vertisols des zones les plus mal drainées des plaines argileuses du Damagaram et du Mounio (étudiés avec les vertisols d'origine mixte).

b/- Les vertisols de la cuvette tchadienne (alluvions fluviolacustres.)

b-1 : les vertisols situés au-dessus de la cote 300 : Manga, bassin de la Korama.

b-2 : les vertisols situés au-dessous de la cote 300 : Kadzell et alluvions de la Komadougou.

## B2-I LES VERTISOLS HYDROMORPHES DES PLAINES ARGILEUSES DU DAMERGOU

### 2I-I Les plaines argileuses du Damergou

Les versants à vertisols, sols de glacis brun rouge et sols d'érosion s'achèvent sur les plaines de remblayage argileuses typique du milieu subaride. Ces dernières sont généralement formées de deux parties : la zone amont où circulent les eaux de ruissellement, découpée par un réseau anastomosé de cheneaux, et la zone aval, mare temporaire où se poursuit encore la décantation. Elles s'échelonnent le long de grandes lignes de drainage dont la plus importante est celle qui draine vers l'Ouest, vers la vallée d'ELIKI, tout le Sud du massif : c'est un immense flat argileux long d'environ 30 km de large en moyenne de 1.000 m. Il s'en est formé également en amont des affluents de la rive droite du GOULBI N'KABA.

Les surfaces les plus sèches, les plus étendues et qui, en dehors des cheneaux d'écoulement des eaux de ruissellement, ne subissent qu'un engorgement temporaire de surface par les eaux pluviales, sont couvertes d'un steppe arbustif très lâche et contracté à acacias, jujubiers, avec tapis d'annuelles; parmi ces

dernières l'abondance de petites panicées (ex : panicum humile) décèle un engorgement un peu plus prolongé. Les mares portent des bois d'Acacia nilotica et pubescens.

### 2I-2 Morphologie

Le profil NA5 SABANKAFFI a été décrit dans une plaine alluviale colmatée située au Sud du Damergou, au contact d'une vallée ensablée drainant vers le Goulbi N'Kaba. La pluviométrie est de 250mm environ; la végétation est une steppe arborée à Acacia senegal, seyal, raddianax. Le drainage externe est assuré par quelques chenaux. La surface du sol est déformée par de petites dépressions (de l'ordre du mètre carré) et régulièrement fissurée en polygones (diamètre moyen 50cm largeur moyenne des fissures 6cm - retrait moyen de 10% du volume total). Les horizons supérieurs se présentent ainsi :

- 0 - 20 cm      Brun jaunâtre; (E 63); avec remplissages sableux, brun clair dans les fentes; Argileux; structure d'ensemble prismatique : fentes de 2 à 5mm tous les 5 à 10 cm, sous structure motteuse en cubes de 5 cm assez irréguliers formés, en surface, de plaquettes (3 x 0,5 cm), en profondeur de mottes cubiques à facettes anguleuses, arêtes vives surfaces rugueuses sans revêtements; microstructure de ciment; cohésion excessive; porosité uniquement d'assemblage; assez riches en racines ramifiées sur la surface des mottes.
- Passage progressif à :
- 20- 45 cm      Brun foncé légèrement olive : (F 63 à F 72); mêmes remplissages sableux; argileux; structure d'ensemble prismatique, sous structure motteuse en plaquettes obliques à faces patinées et striées; cohésion excessive; quelques pores racines en placage sur les mottes.
- Absence de concrétions, nodules et sels figurés.

Ce sol est le type moyen des zones les moins engorgées; il est caractérisé par une teinte très foncée et homogène, par l'absence de ségrégations ferrugineuses. La succession des structures (en plaquettes, cubique, en plaquettes obliques), reprises dans une structure prismatique, la grande taille des mottes, la forte compacité, sont la règle dans les vertisols hydromorphes.

Le profil NA 83 GANGARA est situé dans une mare très temporaire où se rassemblent les eaux de ruissellement. Elle est couverte d'une prairie à panicum. Le drainage externe est nul; les chenaux ont presque disparu. Les déformations superficielles sont peu visibles, la fissuration très forte (diamètre moyen 25cm-largeur moyenne des fissures 3cm- retrait moyen 10,5%). Le profil se distingue du précédent par les trente premiers centimètres.

- 0 cm croûte de décantation glacée en surface et fendillée; face inférieure à ségrégations ferrugineuses et zones décolorées gris clair.
- 0 -30cm IOYR 5/3; brun; nombreuses ségrégations ferrugineuses corses et zones décolorées gris clair (=pseudogley de surface); argileux; structure prismatique; sous structure cubique à polyédrique grossière; quelques faces patinées; cohésion excessive; de rares pores tubulaires.

Les ségrégations existent toujours sous la croûte mais disparaissent des profils à peine plus hauts (dénivellée de l'ordre du décimètre), ce qui montre que la lame d'eau stagnante, très mince, ne déborde pas des points bas, formés par la débouchure des chenaux amont, ici très ramifiés et à peine creusés, décelables surtout par l'aspect du sol.

Ce deuxième type de sol, à la fois plus jeune et plus hydromorphe que le premier, s'en distingue aisément sur le terrain par une teinte d'ensemble plus brune que noire, par une croûte de décantation superficielle remplaçant la structure en plaquettes due au ruissellement des vertisols d'amont (cf NA5 0-20cm) par la présence de ségrégations ferrugineuses.

### 2I-3 Propriétés analytiques

L'accroissement de l'hydromorphie tend à augmenter le taux de matière organique (qui reste faible à cause de l'aridité climatique), le C/N de l'horizon supérieur, et abaisser le pH et le coefficient de saturation (ce qui coïncide avec une élimination des sulfates et carbonates de calcium).

TABLEAU 32

PROPRIETES ANALYTIQUES VARIANT AVEC L'HYDROMORPHIE DE VERTISOLS DU DAMERGOU

(Horizon supérieur)	Vertisol lithomorphe (NA 7)	Vertisol hydromorphe (NA 5)	Vertisol hydromorphe à ségrégations (NA8)
taux de matière organique	0,29%	0,45%	0,8%
C/N	6,5	6,6	8,7
pH	8,0	8,2	6,1
coefficient de saturation	100%	100%	87%
Extrait sec	0,12%	0,13%	0,04%
CO <sub>3</sub> Ca	0,4%	traces	0

On remarquera que l'apparition des ségrégations ferrugineuses (pseudogley) coïncide avec une nette modification des propriétés du complexe absorbant.

Les autres propriétés des horizons de surface ainsi que celles des horizons profonds, ne se distinguent guère de celles des vertisols lithomorphes du Damergou (voir III BII3); le taux de phosphore total reste, en particulier, élevé (0,9%).

La fertilité chimique est moyenne à bonne, et la stabilité structurale médiocre.

#### 2I-4 Utilisation

La pluviométrie trop faible n'y permet pas les cultures sèches; il n'existe pas d'aménagements permettant d'utiliser les eaux de ruissellement; on n'y observe que des pâturages consommés surtout en fin de saison sèche. Ces sols pourraient faire d'excellentes terres à sorgho de décrue. La riziculture est théoriquement possible sur les vertisols à pseudogley de surface (type NA 83), mais pratiquement interdite par manque d'eau.

## 2I-5 Cartographie

Ces sols couvrent une surface suffisamment vaste et continue pour former une unité distincte, surtout le long de l'axe drainant vers la vallée d'ELIKI.

### E2-2 LES VERTISOLS HYDROMORPHES DU MANGA ET DU BASSIN DE LA KORAMA

Nous n'avons observé de vertisols ou d'horizons vertisoliques, que dans les dépôts en fond de bateau colmatant les dépressions, chenaux allongés ou dépressions plus vastes aux embouchures de rivières, situées près des anciennes lignes de rivage ayant limité le lac Tchad lors des extensions 2 et 3. Cette localisation "côtière" peut d'ailleurs être généralisée à l'ensemble de la cuvette tchadienne et des massifs riverains :

- au rivage de l'extension I (paléotchad, cote 420m) correspondent les vertisols d'origine mixte du Damagaram.

- près du rivage de l'extension 2 (grand lac à diatomées - cote 375m) se sont formés les vertisols d'origine mixte du Mounio.

- les vertisols du Kadzell et des alluvions de la Komadougou sont en relation avec l'extension 4 et les niveaux postérieurs.

Le long du rivage 2 il faut attendre l'embouchure de la Korama pour observer des vertisols, en dehors de la bordure du Mounio. La limite Sud-Est de l'erg Gouré-Cuidimouni, en effet, n'a reçu que des dépôts ou trop limoneux ou trop sableux, pour produire des structures vertisoliques; les sols noirs qui s'y forment parfois ont été classés comme hydromorphes, ou halomorphes. Ce n'est que dans la région Dungass-Malwa que les dépôts de colmatage argileux donnent parfois naissance à des vertisols dont nous résumons brièvement ci-dessous les caractéristiques :

teinte très foncée, noire - pas de ségrégations - structures très motteuses - présence de nodules calcaires dès la surface - matière organique assez abondante (I, 5%) bien décomposée (CN/ -II) - complexe absorbant saturé pH neutre ou légèrement alcalin (7,2) taux de sodium ncn toxique (8% de la capacité d'échange), stabilité structurale médiocre - fertilité chimique bonne, mais déficience en phosphore caractérisée.

Ces sols couvrent malheureusement des surfaces trop faibles pour être utilisables. De plus ils voisinent avec des sols noirs à alcalis avec lesquels on peut les confondre à première vue.

A Maine Soroa et au Sud de cette ville l'aval de très beaux sillons creusés dans la couverture sableuse montre un remblayage complexe dont le sommet est un dépôt à dominante texturale argilo finement sableuse, dont l'évolution en milieu mal drainé a produit un ensemble de sols de teinte sombre allant, selon le type textural et la situation topographique, des sols à pseudogley aux vertisols hydromorphes, qui se présentent schématiquement de la façon suivante :

- gris noir - nombreuses ségrégations ferrugineuses rouille sur les vingt premiers centimètres - structures à assemblage plutôt massif des amas calcaires (friables) matière organique peu abondante (0,6%) à C/N très bas (8) - complexe absorbant légèrement désaturé (au plus 90%) en surface, et pH correspondant légèrement désaturé (au plus 90%) en surface, et pH correspondant légèrement acide (6,1) - taux de sodium non toxique - fertilité chimique bonne, mais taux de phosphore insuffisant.

Ces sols pourraient donner de bonnes terres pour les cultures de décrue.

Ils figurent sur la carte dans une association à sols subarides brun rouge peu évolués sur formation sableuse fine du Manga.

## B2-3 LES VERTISOLS HYDROMORPHES DES ALLUVIONS FLUVIO-LACUSTRES DU KADZELL ET DES ALLUVIONS DE LA KOMADOUGOU.

### 23-I Caractères généraux

Les dépôts colmatant la cuvette lacustre au-dessous de la cote 300m, possèdent une homogénéité que pourrait expliquer l'intervention constante de la Komadougou dans leur formation passée et actuelle. Dans toute leur gamme texturale, qui va des sables purs aux argiles de décantation, ils conservent les caractéristiques suivantes :

- fraction sableuse extrêmement fine (mode de moins de 0,10mm)
- fraction limoneuse peu abondante (rapport A/L de 4 à 10)
- fraction argileuse à capacité d'échange assez basse (40 à 55 méq/100g)



Ces propriétés, surtout la dernière ne sont guère favorables à la formation de vertisols. Ces derniers n'apparaissent que lorsque le taux d'argile dépasse 50%, contre 35% dans le Manga, ce qui correspond à la même capacité d'échange minimum : 20 méq./100 g. de sol. En outre, les structures ne sont jamais très caractéristiques, les formes de gonflement en particulier (faces lissées, agrégats orientés...); de même la fissuration a tendance à former des prismes très larges séparés par des fentes relativement fines correspondant à un retrait ne dépassant pas 5% du volume total (contre 10% dans le Manga). S'ils sont dépourvus de sels solubles en quantité nuisible, ces sols possèdent un complexe absorbant riche en sodium (alcalisé), le plus souvent en profondeur (Na/T compris entre 15 et 20%); ils confinent de ce fait aux solonetz sodiques. Celà, joint à leur mauvaise granulométrie; explique leur extrême instabilité structurale et leur imperméabilité quasi totale.

Les alluvions argileuses à vertisols occupent les points bas d'un système sinueux de levées très basses et de zones d'écoulement; ce dispositif n'a conservé d'activité que le long du cours actuel de la Komadougou dont la crue pénètre la plaine alluviale sur une largeur ne dépassant pas 15 Km près de Boudoum et se réduisant à 2 Km en aval, près de Boso. Le Kadzel intérieur n'est plus parcouru que par de maigres eaux de ruissellement (pluviométrie de 400mm à 250mm). Tous ces sols sont donc soumis à un engorgement temporaire de surface à effet décroissant vers le Nord, en s'éloignant de la Komadougou.

Les sites à vertisols sont d'une grande monotonie : ce sont de vastes plaines à surface craquelée, d'une teinte blafarde et grise très particulière, sans autres accidents que les dépressions des mares temporaires. Cependant, les plaines argileuses du Kadzel Ouest, à sols plus sombres, parcourues d'un réseau de chenaux d'écoulement des eaux de ruissellement mieux marqué, ont un aspect plus classique,.

La végétation est peu sensible à l'alourdissement de la texture qui fait naître les argiles noires, probablement parce que ces facteurs limitant que sont l'imperméabilité et la richesse en sodium sont constants dans toutes les alluvions; elle y est simplement plus clairsemée, basse, pauvre en arbres. C'est une steppe arborée ou arbustive très lâche à tapis graminéen annuel; les espèces ligneuses les plus communes sont : *Acacia radiana*, *Maerua crassifolia*, *Boscia senegalensis*, *Acacia senegal*, *Cordia gharaf*, *Salvadora persica* souvent associé au précédent; parmi les graminées citons *Aristida adscensionis*, *Schoenefeldia gracilis*, *Panicum humilis*.

### 23-2 Morphologie

Les vertisols les plus typiques et les plus marqués par l'hydromorphie sont ceux qui se forment dans les mares de la plaine d'inondation actuelle de la Komadougou; le profil NB 97 GÈSKEROU en est un bon exemple :

Etat de surface : fissures de 2cm au plus séparant des polygones de 45cm de diamètre-surface parsemée de petites dépressions arrondies d'environ 20cm de diamètre. Face supérieure des prismes bombées.

- 0cm Crôte à surface luisante de 2mm, grise, avec ségrégations ocre à la face inférieure, et nombreux pores de 2-3mm dans la masse.
- 0-20cm 5Y 5,5/I : gris clair; nombreuses ségrégations ferrugineuses rougeâtres linéaires suivant les traces de racines- des taches ferrugineuses ocres (jusqu'à 4 cm de diamètre); argileux; structure prismatique (20 x 10cm); sous structure cubique en plaquettes (8 x 1cm), oblique de 30° sur l'horizontale, à faces lissés, à assemblage peu compact; structure fine polyédrique; cohésion excessive; pratiquement pas de pores en dehors des traces de racines.
- 20-46cm Intérieur des agrégats gris beluté clair 5Y 5/2; surface des agrégats brun olive 2,5 Y 5/4; ségrégations linéaires un peu plus rougies que ci-dessus (IOYR 6/8), mais moins nombreuses; argileux; est humid; structure cubique en plaquette ne se manifestant plus que par ses faces supérieures et inférieures, lisses et patinées, à équidistance pouvant s'abaisser jusqu'à 5mm; compact en dehors de quelques trous de racines.
- 46-90cm Gris brun 5 Y 5/I,5; l'extérieur des agrégats est légèrement plus ocre (peu visible); les taches linéaires sont beaucoup plus rares; argileux; humide; surfaces obliques extrêmement nombreuses et rapprochées (5mm); quelques grains calcaires de 2mm.
- 90-110cm Gris brun plus clair 5 Y 5/2; riche en remplissages sableux fins blanc jaunâtre; argileux; même structure; quelques fines ségrégations ocre rougeâtre.

La dessiccation peu avancée du profil ne laisse apparaître les structures de retrait (prismatique) que sur les vingt premiers centimètres; les formes de gonflement sont visibles sur toute la hauteur de la coupe. L'engorgement, dû au séjour pendant au plus quatre mois d'une lame d'eau d'au plus

30 cm d'épaisseur, est à l'origine de la réduction des sesquioxides; ces derniers sont en voie de réoxydation sur les faces extérieures des agrégats des horizons supérieurs en cours de dessiccation. La formation des ségrégations ferrugineuses rouges enduisant l'intérieur des pores creusés dans la masse plastique du sol par les racines est de même nature mais plus précoce. L'ensemble de ces taches ferrugineuses réoxydées forme un pseudogley très caractérisé. La nodulation calcaire est peu avancée; les sables inclus dans la base du profil viennent des sables sous jacent au niveau argileux.

Ces mares à vertisols à pseudogley parsèment des plaines argileuses, moins régulièrement et abondamment submergées, à sols plus faiblement différenciés, dont le profil NB 99 GESKÉROU est le type :

Etat de surface : surface rigoureusement plane; fissures de 1cm séparant des polygones de 35cm (retrait de 3%)

- 0 - 3cm croûte gris brun très clair parcourue de taches linéaires très fines rouges (traces de racines); argileuse; très nombreux pores tubulaires larges (4mm); surface lisse.
- 3 -30cm Brun; des ségrégations ferrugineuses brun foncé (peu visibles); argileux à argilo finement sableux; structure prismatique à éléments larges de 35cm se prolongeant dans l'horizon sous jacent; sous structure prismatique large de 10cm (fissures de 2mm) confinée dans cet horizon; structure suivante en forme de cubes horizontalement aplatis, irréguliers (5 x 2cm), en assemblage compact; toutes les faces sont rugueuses; cohésion excessive; mottes et agrégats à porosité fine, tubulaire, peu développée.
- Vers 10cm se voit encore un lit irrégulier de sable fin.
- 30 -70cm Brun; ségrégations très fines et peu visibles; argileux; structure prismatique prolongeant celle de l'horizon précédent à fissures s'élargissant vers la base (2cm) où apparaissent quelques ségrégations ocres; sous structure cubique (13cm) à faces souvent obliques mais non patinées; structure fine polyédrique à facettes lisses et assemblage compact à orientation faiblement oblique sur l'horizontale très nette; cohésion excessive; quelques pores tubulaires
- 70cm Fissure horizontale (joint de sédimentation)
- 70-120cm Gris, très nombreuses taches diffuses ferrugineuses ocre; argileux; structure prismatique (largeur de 25cm) dont les fissures se prolongent pas celles de l'horizon supérieur; sous structure polyédrique fine (0,5cm) à facettes rugueuses angles vifs, assemblage compact; cohésion très forte; compact; des concrétions noires arrondies de moins de 1cm, très dures, sans cortex, adhérant au sol; de petits grains calcaires

Ce profil est un sol évidemment jeune, car il a conservé des traces de la stratification alluviale (lit de sable -joint horizontal) que le développement des structures vertisoliques tend à effacer. Le matériau est cependant homogène sur toute l'épaisseur. Comme les structures vertisoliques ne marquent que les soixante dix centimètres supérieurs, il est probable que l'engorgement temporaire ne dépasse pas cette profondeur. Le pseudogley est peu marqué; les ségrégations, concrétions de l'horizon inférieur sont celles d'un ancien niveau d'engorgement par nappe, qui existe sous pratiquement tous les sols des dépôts fluvio-lacustres. On notera la grande taille des éléments structuraux, l'absence de patines des grandes surfaces obliques, l'orientation de l'assemblage des agrégats polyédriques (ces derniers produits lors du gonflement de la masse argileuse); le niveau cubique en plaquettes est ici peu caractéristique (30-70cm) les mottes n'étant pas aplaties et leur assemblage peu régulier.

Les vertisols du Kadzel Est, situés au-dessous de la cote 290, sont très voisins du type décrit précédemment; comme la submersion y est uniquement pluviale, ses effets sont très faibles et on n'observe pratiquement pas de pseudogley. Dans l'Ouest les profils, également dépourvus de ségrégations, possèdent des structures plus caractéristiques comme le montre la description partielle de NC I4 SAYAM :

Etat de surface : Fissures de 3cm réparties régulièrement tous les 40 à 60cm (retrait de 5 à 7%) petites dépressions ( $\varnothing$  20cm) régulièrement réparties aux intersections des fissures.

- |         |  |
|---------|--|
| 0cm     | Crôte argileuse blanchâtre.  |
| 0-15cm  | 2,5Y 5/1; gris très foncé; homogène; argileux; structure prismatique; sous structure massive mais débit horizontal facile cohésion excessive; colmaté; des nodules calcaires de moins de 1cm.  |
| 15-25cm | 2,5 Y 4/2; gris très foncé; homogène; structure cubique en plaquettes légèrement oblique, épaisses de 0,5cm, à faces lisses et légèrement plus foncées que la masse intérieure; cohésion excessive; agrégats peu poreux; des nodules calcaires; présence de sables ruisselés entre les plaquettes. |

les vertisols hydromorphes précédemment étudiés; son intensité n'est pas ici supérieure à celle qu'il connaît dans les vertisols mixtes du Damagaram; mais la richesse plus grande en sodium des alluvions fluvio-lacustres le fait plus aisément remarquer. Fait d'ordre purement chimique, il se distingue de la "solodisation" en ce qu'il ne s'accompagne pas de la formation des horizons caractéristiques de cette dernière.

La stabilité structurale est très mauvaise; la perméabilité ne dépasse pas 0,5cm/h. Ces graves défauts sont dus à la texture et aux taux élevés de sodium.

Les taux d'azote, compris entre 0,25 et 0,5‰, sont moyens, mais les teneurs correspondantes en phosphore sont médiocres : 0,05 à 0,3‰. L'équilibre pH-Azote est satisfaisant pour les cultures sèches; il est excellent pour la riziculture dans les sols de mares de la Komadougou, moyen à médiocre dans les plaines argileuses du Kadzel Est.

On constate donc que seule l'hydromorphie amène une variation des propriétés analytiques des vertisols, essentiellement le pH, le taux de matière organique, le taux de sodium en surface, qui n'est d'ailleurs bien apparente que dans les sols de mares. La situation géographique n'intervient que dans la mesure où elle fait varier les conditions de l'engorgement de surface, mise à part une légère augmentation de la capacité d'échange de la fraction argileuse (55 méq contre 45) dans le Kadzel Ouest.

### 23-3 Utilisation

Ces vertisols sont pratiquement incultes; de fait leur mise en culture se heurte à de nombreuses difficultés.

Leur humectation correcte demande beaucoup d'eau, de l'ordre de 400m/m (millimètres d'eau par mètre de sol); or elle fait pratiquement défaut presque partout. L'absence de pentes ne permet pas de concentrer suffisamment les eaux de ruissellement du Kadzel. Les eaux des puits et forages, rares et coûteuses, ne constituent qu'une possibilité théorique. La crue de la Komadougou n'est encore que très imparfaitement contrôlée, mais elle est encore seule à alimenter des cultures de décrue ou des rizières. Les eaux du lac Tchad, seule réserve à l'échelle des besoins, sont inaccessibles pour le moment.

Leur quasi-imperméabilité y interdit, selon les normes classiques, l'irrigation. Certains échantillons pris dans le Kadzel Ouest sont totalement imperméables à l'état saturé. On sait de plus que ce défaut ne pourrait que s'aggraver, dans les cas où ce serait encore possible, par l'irrigation. On ne peut espérer l'améliorer en abaissant uniquement le taux de sodium du complexe absorbant, les sols de mares, peu sodés, restant peu perméables. Il faudrait encore modifier la texture, trop riche en argile à capacité d'échange trop faible et à sables trop fins, ce qui n'est pratiquement pas possible. En effet, les sols sur alluvions fluvio lacustres du Kadzel possédant la perméabilité minimum acceptable (1,5cm/h) pour la culture irriguée la plus rustique (blé dur) renferment moins de 20% d'argile, pour un taux de sodium échangeable inférieur à 3% de la capacité d'échange. De fait, les cultivateurs riverains de la Komadougou n'irriguent pas les vertisols en dépit d'une technique bien adaptée aux sols peu perméables. L'installation d'un véritable réseau d'irrigation y serait difficile et risquée. Des périmètres submergés, utilisés plutôt comme rizières qu'en décrue, leur conviendraient mieux.

On doit examiner de plus près le risque de salure qui se pose d'ailleurs pour tous les sols de bas fond de cette partie de la cuvette tchadienne. Il consiste en l'apparition de sulfate et de carbonate de soude, de dernier étant le sel le plus toxique qu'il soit possible de trouver habituellement dans le sol. L'alcalisation qui lui est due nait soit de dépôts par évaporation de l'eau d'humectation soit d'un échange de sodium entre le complexe absorbant et le carbonate de calcium, toujours présent, au moins à l'état de traces, dans nos vertisols. Ces deux mécanismes ne semblent pas jouer de façon appréciable dans les conditions naturelles, l'équilibre ionique et salin entre les vertisols et les eaux étant satisfaisant. En effet, les taux de sels solubles, petits et croissant vers la base des profils, montrent que leur engorgement est dû à des eaux peu chargées, pluviales ou de crue, qui n'exigent qu'un drainage très faible pour l'élimination de l'excès de sels. En outre l'apport de natron par l'évaporation in situ de nappes superficielles n'existe pas dans ces vertisols parce que leur imperméabilité refoule ces nappes vers les levées à textures plus légères, zones d'accumulation des sels. Le phénomène d'échange du sodium est certainement peu actif car le pH ne dépasse pratiquement pas (pH de sols à carbonate de calcium) alors qu'il suffit de traces de carbonate de sodium (50 mg/100g de sol) pour que le pH dépasse 8,5 (valeur déprimant d'un quart les rendements). Cette formation d'alcali croit en principe avec le taux de

sodium échangeable (Na/T x 100), à partir d'un seuil fixé classiquement à 12, mais compris entre 10 et 40 pour l'ensemble des sols argileux, vertisoliques ou non, de la cuvette tchadienne. Comme ce taux est compris entre 3 et 20 dans les vertisols du Kadzel et de la Komadougou on peut affirmer que la formation de carbonate de sodium y est plus difficile que dans majorité des sols. Ces équilibres seront modifiés si la mise en valeur change la composition et ou les doses de l'eau. On sait que le taux de sodium du sol est fixé par une certaine fonction croissant avec la richesse en sodium de l'eau du sol désignée par le sigle SAR :  $0,707 \times NA \times (Ca + Mg)^{-\frac{1}{2}}$

Dans le tableau ci-dessous, établi en admettant que les eaux d'irrigation se concentrent deux fois en moyenne dans le sol (évapotranspiration), on peut voir qu'aucune des eaux théoriquement utilisables ne pourra augmenter sérieusement le taux de sodium échangeable des sols au-delà des maxima observés actuellement.

TABLEAU 33

(taux de sodium échangeable du sol : Na/T x 100	Minimum (Komadougou)	Maximum en surface (Kadzel E)	Maximum en profondeur (Kadzel E)
	3	12	20
SAR de l'eau d'irrigation en équilibre avec le sol	2,0	7,5	14,1
SAR des eaux de puits du Kadzel	1 à 8,5		
SAR des eaux du Lac Tchad	2,0 (Bosso)	2,8 (N'Guigmi)	5,0 (bras cotier)
SAR des eaux pluviales, de crue	moins de 1,0		

Le taux de sels solubles d'un sol irrigué croît avec la concentration, la dose et la quantité retenue par le sol de l'eau. Il varie plus rapidement que le taux de sodium échangeable, aussi bien dans la nature (rythme saisonnier) que sous irrigation. Des concentration élevées peuvent être rapidement atteintes à la surface du sol et dans la zone de concentration des racines si le drainage est trop faible, l'évaporation trop rapide, la dose insuffisante, toutes conditions qui ne seraient que trop facilement réalisées sur les vertisols, du

fait de leur imperméabilité, de la rareté de l'eau, de l'absence de drainage dans le système traditionnel. De plus les sels déposés par toutes les eaux, du Kadzel à la Komadoukou, sont très toxiques parce qu'ils sont formés surtout de sels de sodium (proportion de 20 à 80%), essentiellement du carbonate accompagné de quantités plus faibles de sulfate et chlorure; pour un extrait sec variant de 150 à 1200 mg/l, ces eaux peuvent déposer de 60 à 425mg/l de carbonate et 90 à 600mg/l de sels de sodium totaux. Sur le tableau ci-dessous on peut constater qu'une irrigation à petites doses, appliquées pour une humidité égale à 80% de la capacité de rétention (soit un déficit à combler de 70mm/m ne demande qu'un faible excès d'eau de lessivage pour maintenir le taux de carbonate de sodium du sol au-dessous du seuil de 50mg/100g, (dépression des rendements de 25%). Au contraire une irrigation à fortes doses (humidité du sol de 55% de la capacité de rétention; déficit de 180mm) exige un drainage important, aussi bien pour maintenir le taux de carbonate du sol au-dessous du maximum de 130mg/100g (stérilisation) que du seuil de 50mg/100g. (dépression des rendements de 25%).

TABLEAU 34

DOSES D'IRRIGATION ET TAUX CORRESPONDANTS DE CARBONATE DE SODIUM ATTEINTS A L'EQUILIBRE PAR LES VERTISOLS DU KADZEL ET DE LA KOMADOUKOU.

Concentration en carbonate de sodium de l'eau	60mg/l	160mg/l	425mg/l	Taux de carbonate du sol
A/ Doses pour un déficit de 70mm/m d'eau	73mm/m	72mm/m	73mm/m	50mg/100g.
B/ Doses pour un déficit de 180mm/m d'eau	215mm/m 195mm/m	310mm/m 197mm/m	illimitée 202mm/m	50mg/100 G 130mg/100 g

La faible perméabilité des vertisols n'y autorise qu'une irrigation par petites doses limitant au maximum le drainage nécessaire au maintien du taux de sels de sodium à un niveau acceptable et permettant l'utilisation de toutes les eaux disponibles.



C'est, en résumé, la faible perméabilité de ces vertisols qui, le problème de l'eau résolu, en freinera de plus la mise en valeur. Des rizières (Komadougou), ou des périmètres de culture en décrue (Komadougou, Kadzel) avec irrigation d'appoint à petites doses devraient y réussir. Dans ces conditions ni les sols ni les eaux poseraient de problème de salure. Les éléments fertilisants à apporter sont, par ordre décroissant de priorité, le phosphore, l'azote, la potasse.

#### 23-4 Sols associés et Cartographie

Le long de la Komadougou les vertisols voisinent avec des sols plus légers, à engorgement de surface et par nappe, et par celà souvent salés, peu différenciés, plus rarement bien drainés et alors de type brun, l'ensemble étant cartographié comme association à sols hydromorphes à pseudogley de surface peu évolués sur alluvions de la Komadougou. Le cortège de sols du Kadzel Est se distingue du précédent par la réduction actuelle des actions de nappe, la présence de brun rouge parmi les terres bien drainés, et la plus grande extension des vertisols hydromorphes qui ont été considérés comme les sols principaux de l'association sur alluvions fluviolacustres du Kadzel. Leur grande extension dans l'Ouest de cette région a permis de les y dessiner séparément; cette unité couvre 900Km<sup>2</sup>, elle est semée de levées à sols brun rouge, plus rarement bruns, ces derniers n'ayant été ni mentionnés ni dessinés.

LES SOLS HALOMORPHES

---

## IV - LES SOLS HALOMORPHES

### IV-A INTRODUCTION

#### IV-AI-DONNES GENERALES

Les Sols Halomorphes, ou Sols Salés, évoluent sous l'influence d'un sel soluble ou d'une richesse anormalement élevée du complexe absorbant en cations dispersants. Les sels solubles les plus communément rencontrés sont soit neutres (chlorure et sulfate de sodium, sulfate de magnésium), soit alcalins (carbonate et bicarbonate de sodium). Le sodium a une action dispersante à la fois plus forte et plus certaine que le magnésium.

Les effets morphologiques des sels solubles et cations dispersants sont les suivants :

Sels neutres : ils peuvent être observés sur ou dans un profil soit sous forme de croûte (masse cristalline dure), d'efflorescence (masse cristalline friable), ou d'amas de cristaux. A de fortes concentrations ils provoquent la floculation électrolytique de l'argile et donnent naissance à des structures à petits agrégats très salés, visibles surtout à la surface du sol.

Sels alcalins : aux effets des sels neutres s'ajoutent pour eux la dissolution de la matière organique, qui peut être soit redéposée en surface (efflorescences sombres dites "salant noir") soit entraînée en profondeur, ainsi que la dispersion de l'argile à des concentrations plus faibles que celles qui en entraînent la floculation. Les horizons atteints forment des boues ou des structures très lâches, à forte cohésion mais faible stabilité, selon leur degré d'humidité.

Cations dispersants : leur présence se décèle à l'élargissement des structures et à la diminution de leur stabilité à l'eau; leur action est semblable à celle des sels alcalins auxquels ils sont fréquemment associés.

Dans les profils salés ces effets se combinent à des traits produits par des processus différents : hydromorphie, accumulation de calcaire (sel flocculant), présence de structures de vertisols, déflation éolienne, lessivage des sels et de l'argile. Les sols halomorphes sont d'aspect variés et parfois peu spécifiques.

Aussi s'aide-t-on souvent de la végétation des sols salés, de physiologie ou flore particulières. Cette spécialisation est due à la toxicité des sels solubles qui modifie le port et la structure des espèces sensibles, puis les éliminent progressivement au profit de plantes résistantes (halophytes). L'ordre de toxicité, à concentrations égales, est le suivant :

$\text{CO}_3 \text{ Na}_2$	$\text{Na Cl}$	$\text{SO}_4 \text{ Na}_2$	
4 - 5	2 - 3	I	(selon KOVDA).

Les cations dispersants sont moins nocifs, mais augmentent les difficultés d'alimentation en eau des plantes des sols argileux.

Les sels sont apportés par les eaux d'humectation (précipitations, nappes superficielles, eaux de ruissellement, eaux de sédimentation). Leur concentration est favorisée dans les régions arides et chaudes par la faiblesse du drainage des sols et une forte évapotranspiration. Comme les cations fixés sur le complexe absorbant se mettent en équilibre avec ceux de la solution du sol, la proportion des cations dispersants augmente au-delà de celle qui existe dans les sols normaux, très pauvres en sels solubles; dans ces derniers l'ordre normal de décroissance des taux est Ca Mg K Na; on admet de plus que la somme des taux du sodium et du magnésium y est inférieure à 12,5% de la capacité d'échange. Inversement le sodium fixé au-delà d'un certain taux (12% en principe) peut repasser en partie dans la solution du sol sous forme de carbonate (Sol à alcali).

La classification des sols salés fait simultanément appel à des données analytiques (taux de sels solubles, de sels alcalins, proportions des cations) et morphologiques. Elle compte deux sous-classes. La première est formée des sols dont la structure n'a pas été modifiée, par dispersion de l'argile par rapport à celle de sols de même texture et de même type de drainage; ils renferment de grandes quantités de sels solubles (solontchaks) et, indépendamment de la présence de sels cristallisés, ont un faciès de sols hydromorphes ou bruns, ou calcimorphes; de plus les sols salés trop sableux ne peuvent figurer que dans cette sous-classe, leur structure étant peu susceptible de modifications; le taux

minimum de sels solubles définissant un "solontchak" est généralement établi d'après l'apparition d'une flore spéciale ou la destruction de cultures; lorsque les sols solubles sont neutres, le solontchak appartient au groupe des sols salins (au moins 400 à 500mg/100g de sels); lorsqu'ils sont partiellement alcalins, son groupe est celui des sols à alcali non lessivés (au moins 50mg/100g de  $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ ). La seconde sous-classe est celle des sols présentant des structures modifiées; elle est formée des groupes des sols à alcalis lessivés, des solonetz, dont la partie supérieure, au moins, est dépourvue de sels solubles mais reste bien pourvue en cations dispersants, et des solods, qui ont un horizon d'accumulation argileux et sont désaturés en surface.

## IVA-2 L'HALOMORPHIE AU NIGER ORIENTAL

### A2-I ORIGINE DES SELS

On n'observe pas de sols salés dans les bassins situés en dehors de la cuvette tchadienne. Les argiles sédimentaires du Damergou ne donnent naissance qu'à de faibles concentrations de carbonate de calcium. Il en est de même, mais dans une très faible mesure, des grès continentaux, dans les sites hydromorphes. Les fractions fines des arènes des granites alcalins sont pratiquement dépourvues de sels et sont pauvres en sodium échangeable ( $\text{Na}/\text{T} = 5\%$ ). Les arènes des granites calcoalcalins et surtout celles des roches métamorphiques sont souvent riches en carbonate de calcium et la base des sols argileux en dérivant offre souvent des niveaux à nodules calcaires et plus rarement à gypse, coïncidant avec des taux élevés de sodium échangeable ( $\text{Na}/\text{T} = 23\%$ ). On constate partout une tendance des sols vertisoliques à présenter des horizons profonds riches en sodium (solonetziques), cela lié à un lessivage limité de traces de sels solubles.

Dans la cuvette tchadienne des sels se déposent actuellement par évaporation d'une nappe superficielle, qui est soit celle qui prolonge la nappe du Continental Intercalaire, soit celle qui ceinture le Lac Tchad. On y rencontre également des réservoirs de sels jadis formés dans le passé/par l'un des deux agents précédents. La nappe du Continental Intercalaire, fort homogène, s'est peu concentrée, par échange ou dissolution, jusqu'à son débouché dans la cuvette tchadienne. Dans cette dernière les concentrations restent faibles et l'équilibre des anions, donné ci-dessous, y est effectivement celui de solutions diluées.

Ordre de décroissance des anions	Concentration des eaux (mg/l)
types les plus communs :	
CO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> Cl	130 à 750
CO <sub>3</sub> Cl SO <sub>4</sub>	180 à 1180
types les plus rares	
SO <sub>4</sub> CO <sub>3</sub> Cl	460 à 3000
SO <sub>4</sub> Cl CO <sub>3</sub>	4000 (une observation)

On remarquera une légère concentration allant de pair avec une augmentation du taux relatif des sulfates, l'anion le plus rare restant le chlore. L'ordre de décroissance des cations, indifféremment Na Ca Mg ou Ca Na Mg, montre une richesse anormale en sodium particulière à cette nappe. Le rapport Ca/Mg varie peu autour de 2,45, ce qui confirme que le processus de concentration n'est qu'à peine amorcé. Malheureusement la composition chimique de ces eaux est telle que leur évaporation dans les sols libère du carbonate de soude dans un cas sur deux. Plus généralement la concentration au niveau de la frange capillaire dépose du calcaire et du gypse dans le profil, des sulfates et carbonates de sodés en surface (voir I° partie IIB24) sous forme d'efflorescences.

Les eaux de la frange évaporatoire ceinturant le lac Tchad sont carbonatées sodiques et libère du natron. Il en fut de même des eaux de sédimentation des alluvions du Kadzel, dont les sels solubles sont redistribués par les nappes nourries par la Komadougou.

## A2-2 LOCALISATION DES SOLS HALOMORPHES

Les plus typiques se forment dans les zones d'évaporation maximum des nappes, où leur profondeur est faible (zones d'affleurement), leur niveau le plus constant possible (zones de réalimentation), et la perméabilité du sous-sol élevée (couverture sableuse). Ces conditions sont réalisées dans les interdunes de la couverture sableuse fine à l'Ouest du Mounio, particulièrement sur la ligne Guidimouni-Gouchi-Guidiguir, autour de la Korama de Gocholo à Djéré, et, dans le Manga Sud, dans la région des "lacs" entre Alkamari et Adebour. Elles existent également autour des bras lacustres séparant les langues sableuses basses de la cote Nord du Lac Tchad, à eaux moins mobiles et plus salées que celles qui bordent la côte Sud.

Les dépôts salés interdunaires situés au-dessus du cordon de Tal et à l'intérieur de ce dernier, très abondants dans la région Bouné-Gamdou, également au Sud du Tchidi N'Gourbaybé et au Sud-Est du Tioldé, ont surtout conservé du carbonate de calcium des sels qu'avaient déposés les eaux de sédimentation ou de nappe d'engorgement. Les dépôts fins du Kadzel sont par contre encore riches en alcali et sodium échangeable

#### IV-B ETUDE MONOGRAPHIQUE DES SOLS HALOMORPHES DU NIGER ORIENTAL

##### IVB-I LES SOLS SALES PAR L'EVAPORATION D'UNE NAPPE

##### BII- LES SOLS SALES PAR NAPPE DE LA COUVERTURE SABLEUSE DE LA CUVETTE TCHADIENNE

##### II-I Morphologie

Le profil le plus caractéristique, NA 76 MAGARIA, a été observé près d'un talweg colmaté drainant la nappe avec un faible écoulement, au Nord du plateau de BANDE. La végétation ligneuse est celle d'un sol sableux à engorgement de nappe : Borassus flabellifer (ronier); la végétation herbacée, au contraire, est propre aux sols à natron : Eragrostis Cambessiadana et Sporobolus spicatus.

##### Etat de surface :

- efflorescences extrêmement abondantes : blanches, effervescentes (natron), d'aspect bourgeonnant, boursoufflé; se développent surtout sur les surfaces tassées par piétinement (pistes); gainent les tiges de graminées.
- Le profil est ouvert dans un mamelon couvert de 1 à 2cm de ces sels.

0 - 70cm	IOYR 4,5/4; kaki; des trainées brun fomé; sableux humide.
70 - 90cm	Plus clair à taches de <u>gley</u> bleu vert vif; des ségrégations ocre brun; sablo-argileux; des sulfures; le gley est associé à des racines mortes; nappe à 80cm.
90 -110cm	Plus clair, à gley et concrétions noires; sableux.
110 -150cm	très clair
150- 220cm	presque uniformément bleu
220 cm	Sables gris clair des carbonates dans tout le profil.

autour de la butte les 10 premiers centimètres sont formés de sables beige brun, humides, à ségrégations rouille.

Les caractères halomorphes sont ici la présence d'efflorescences de natron (bicarbonate et carbonate de soude) et de sulfate de soude et la teinte jaune (kaki) que peut prendre l'horizon supérieur. L'hydromorphie de nappe se manifeste par un gley (sulfure ferreux) intense, réparti par poches et lits et associé à des débris organiques; les concrétions noires (fer et manganèse) sont également caractéristiques des sols à engorgement de nappe au toit de laquelle elles se placent le plus souvent.

L'halomorphie est maximum dans les sols à croûte saline du Sud du Manga, sols de mares où l'accumulation des sels de la nappe se combine à celle d'une saumure superficielle, tel NB 79 ZOUMBA :

Etat de surface : parsemée de plages déprimées de plusieurs mètres carrés; les zones les plus hautes portent des efflorescences carbonatées (carbonate de calcium et magnésium, sulfate de sodium, traces de carbonate de soude) et sont régulièrement fissurées tous les 20-30cm; les zones les plus basses sont couvertes d'une croûte sulfatée.

1° profil, au centre d'une dépression à sulfate

0 - 7 cm CROUTE A THENARDITE (SO<sub>4</sub> Na<sub>2</sub>)



- 0 - 1cm Croûte sulfatée légèrement chlorurée; couverte d'une pellicule jaunâtre; très blanche à l'intérieur; formée de lamelles friables anastomosées; légère, boursouflée, trouée (par les bulles d'air en fin d'évaporation).
- I - 4cm Couche d'aspect noigoux, poudreux, de fins cristaux de thénardite orthorhombiques.
- 4 - 7cm Enchevêtrement de gros cristaux hyalins de thénardite pris en masse; au sommet un lit très finement cristallisé (sucre en poudre); à la base présence d'impuretés noires et de cristaux aciculaires de thénardite à conduit carbonaté.
- 7 - 14cm LIMONS NOIRS CARBONATES A CRISTAUX DE THENARDITE brun verdâtre foncé à noir; limites très nettes; carbonaté; présence de sulfures; des amas de cristaux limpides (thénardite) à grand axe vertical, longueur de 5 à 10cm.
- 14 - 22cm LIMONS NOIRS CARBONATES  
noir, plus foncé au sommet; lité; faces et pores plus clairs; carbonaté.
- 22 - 27cm SABLES ARGILEUX CARBONATES A CONCRETIONS D'HYDROXYDES  
5 Y 4/I à 4/2; jaune verdâtre foncé à noirâtre; sableux au sommet (moyen à grossier) passant à sablo-argileux à la base; formé d'un empilement de fines plaquettes se débitant en petits éléments anguleux (aspect de marc de café); trois lits de concrétions brun noirâtre foncé plus ocrée au centre, dures, avec un cortex mince.
- 27-40 - 90cm LIMONS KAKI CARBONATES A CRISTAUX DE THENARDITE  
Brun verdâtre; argilo-limoneux; nombreux cristaux de thénardite de 1cm; fait effervescence.
- 40cm NAPPE PHREATIQUE
- 90cm SABLES ARGILEUX CARBONATES A CONCRETIONS D'HYDROXYDES
- 2°. Profil, au contact d'une zone plus haute à efflorescences carbonatées.
- 0-12cm CROUTE A THENARDITE  
même aspect que précédemment.
- 12-22cm LIMONS NOIRS A CRISTAUX DE THENARDITE  
compacts et collants; aspect de cirage.
- 22-33cm LIMONS KAKI A CRISTAUX DE THENARDITE  
cristaux plus fins; s'émiettent.

33-50-95cm LIMONS BRUNS CARBONATES A HYDROXYDES  
brun noirâtre à noyaux limoneux plus bruns (début de  
concrétionnement); quelques ségrégations ferrugi-  
neuses.

95 -100cm LIMONS BRUN ROUGE CRISTAUX ET GLEY  
5YR 2 à 3/2; brun rougeâtre foncé; limoneux; riche  
en gros cristaux; des taches bleu vert très foncées  
(gley)

120cm NAPPE.

L'aspect général est celui d'un empilement d'alluvions de marécage :  
vases organiques, limoneuses et sulfurées, sables argileux. La croûte de thé-  
nardite est un dépôt de la saumure que forment les eaux de la mare en voie de  
dessèchement. Le sulfate de soude cristallise à l'intérieur même du profil, mais  
uniquement dans les niveaux limoneux; inversement les ségrégations et concrétion  
d'hydroxydes se localisent surtout dans les sables. L'ensemble du profil est  
bourré de carbonates de calcium et magnésium. Les structures de ces sols se dé-  
veloppent et s'observent rarement, car ils restent constamment humides; le NA  
I4, GIDIGIR, à vrai dire quelque peu fossilisé par un recouvrement sableux et  
un abaissement probable de la nappe, fait exception :

0 - 4Icm : RECOUVREMENT SABLEUX EOLIEN RECENT A SOL BRUN ROUGE  
PEU EVOLUE

4I-125cm : SOLS SALE PAR EVAPORATION DE LA NAPPE

4I-64cm : Brun ocre noirâtre très hétérogène : (7,5 YR 4/4);  
avec des canaux horizontaux de 0,5cm. de diamètre, .  
remplis de sables ocres; Sableux à sablo-argileux;  
Structure massive à tendance prismatique avec débit  
cubique à arêtes marquées; Cohésion forte; Porosité  
tubulaire fine médiocre; taches diffuses rougies et  
taches ocres; Pas de carbonates; Nombreuses racines  
horizontales de Hyphaene, Thebaïca.  
Passage progressif à :

125-200cm VASE ORGANIQUE SALÉE

Noir verdâtre : (10 YR 2/1), avec des taches ocre  
foncées, fines et nombreuses, surtout sur les faces  
des agrégats; avec des remplissages sableux ocres  
horizontaux; Argileux; Organique; Structure polyé-  
drique en assemblage compact, de 0,5cm. de taille;  
Plastique; outre les deux formes d'accumulation de  
carbonates décrites précédemment, les plages blanches

semblant plus nombreuses vers la base de l'horizon, on observe de très petits grains de carbonates répartis dans la masse; le plus riche en chevelu ramifié issu des racines d'*Hyphaene*.

Niveau piézométrique à 180cm.

Au-dessous de 180cm, zone de concentration d'hydroxydes donnant par oxydation de grandes taches ocre vif : (7,5 à 10 YR 5/8 ou E 68); Pas de sulfures observés.

Vers 200 SABLES EOLIENS ANCIENS; MAGASIN DE LA NAPPE

Sables blancs, moyens à fins, éoliens, avec quelques grains colorés roses ou rouges; Présence de sulfures; Absence de carbonates  
Nappe en charge.

Ces structures sont néanmoins orientées plutôt par la texture que par la présence de sels : fissuration prismatique (sablo-argileux), structure polyédrique fine (argilo-sableux à forte capacité d'échange).

Cette absence d'évolution structurale est encore plus évidente dans les sols sur argiles limoneuses en plaquettes des mares situées entre Bouné et la route Malwa-Gouchi, dont le type est NB 24 BOUNE.

Etat de surface : croûte couverte d'une pellicule squameuse blanche, carbonatée (calcaire); des coussinets à *Sporobolus spicatus*.

- |          |  |
|----------|--|
| 0 - 5cm  | IOYR 8/I, blanc grisâtre, finement sablo-limoneux; structure polyédrique fine à assemblage lâche; cohésion des agrégats forte; porosité de type tubulaire, enracinement vertical dense. Très effervescent.   |
| 5 -22cm  | 2,5 Y 6/2, brun (humide) jaune foncé (kaki); argilo-limoneux; formé de plaquettes émiétées par des racines s'insinuant dans les joints horizontaux; concrétions calcaires tendres, blanches, sans cortex, ovoïdes à sphériques, très effervescent.   |
| 22 -56cm | 2,5 Y 5/3, brun jaune plus foncé; fines ségrégations ferrugineuses sur les trajets de racines (rouille foncé); empilement de feuillets horizontaux à texture très argileuse et limoneuse, dépourvus de macroporosité quelques faces obliques, de petits amas calcaires (3-4mm) très friables; des racines entre les feuillets. |
| 56cm     | nappe phréatique; teinte jaune; fait efforvescenco (bicarbonates de calcium, potassium, sodium, dans l'ordre décroissant).   |

56 cm 5Y 4/4; dans les mêmes "limons en plaquettes" que ci-dessus, présence d'un gley vert virant, à l'air, au bleu foncé.

En effet, ce sol ne présente qu'une désagrégation mécanique des plaquettes limoneuses par les racines de Sporobolus, des traces de gonflement au toit actuel de la nappe, et une structure sédimentaire indemne dès 56cm de profondeur. On remarquera que l'accumulation de calcaire, soit sous deux formes superposées dans le même horizon (pseudomycélium au sommet, amas ou concrétions à la base, cf. NA I4 GIDIGIR), soit sous forme d'amas tendres très proches de la surface du profil (cf. NB 24 BOUNE) est caractéristique de dépôts par nappe et peut, faute d'autres caractères, indiquer la présence possible de sels solubles.

Les profils décrits ci-dessus ne sont pas les plus fréquents dans les zones d'évaporation de la nappe; les caractères de salure sont généralement plus discrets et peuvent se réduire, en pleine saison sèche, à des plages efflorescentes petites et discontinues, ou, à la limite, à une couche superficielle d'aggrégats sableux cimentés par des carbonates; le profil ne se distingue alors en rien de celui des sols hydromorphes. Un bon exemple en est le NA I8 WACHA, dans la zone onsablée du lit majeur de la Korama, sous une savane à doum et Parinari avec tapis annuel d'Eragrostis :

en surface efflorescences blanches vermiculées ou en fines granulations par petites plages, de sulfate de magnésium.

- 0 - 20cm Brun jaune à brun foncé IO YR 3,5/2, avec de très légères taches diffuses rouille; sableux (sables fins éoliens); structure massive à débit cubique, particulaire; chevelu assez dense.
- 20 - 90cm Noirâtre (humide), brun jaune terne IOYR 6/3 pour la phase sableuse, à nombreuses taches brun rouille peu distinctes et taches noires (3mm) bien individualisées. Formé de deux phases, l'une colloïdale, entièrement en suspension dans la solution du sol, l'autre sableuse, comme ci-dessus. Boulant. racines nombreuses.
- 90cm très nombreuses taches rouges légèrement durcies, rhizoïdes- nappe : 2.500 ohm/cm.

L'aspect de ces sols varie avec les saisons et les périodes de plus ou moins grande pluviosité. Les pluies dissolvent et lessivent les sels solubles. Pendant les périodes à forte pluviométrie la nappe remonte et sale des sols hydromorphes jusqu'alors indemnes (exemple : sols des bas fonds du bassin de la Korama au Nord de Bandé). Inversement en s'abaissant pendant les années sèches elle permet aux eaux libres des mares, coincées au-dessus des dépôts imperméables en fond de bateau sur la couverture sableuse, de se concentrer et de former des croûtes. Aussi la classification morphologique donnée ci-dessous n'est fondée que sur l'aspect des sols en saison sèche :

X - Sols salés à structure non modifiée (Solontchaks).

+ Sols salés par l'évaporation d'une nappe.

° Sols à horizon supérieur coloré par des sesquioxydes à répartition diffuse (horizon kak, sodisé)

- Sols à natron : efflorescences de natron épaisses (cm) pas d'accumulation concentrée de calcaires (nodules); nappe phréatique stable.

ex : NA 76, sur alluvions sableuses, à gley.

- Sols à alcali calcaires : calcaire (ou carbonate de magnésium) concentré en amas, nodules..; efflorescences peu abondantes;

ex : NB24, sur limons en plaquettes, à gley

° Sols à horizon supérieur coloré par de la matière organique, avec ou sans ségrégations ferrugineuses.

- Sols hydromorphes, calcaires à alcali :

nodules, amas, pseudomycélium calcaire dans le profil efflorescences peu abondantes; matériaux souvent polyphasés à niveaux peu perméables.

ex : NA I4 sur alluvions

- Sols hydromorphes à efflorescences ; aspect d'un sol à engorgement de nappe, efflorescences par plages discontinues, minces (mm); pas d'accumulation concentrée du calcaire :

- Sols à efflorescences natronées.
- Sols à efflorescences natronées et sulfatées
- Sols à efflorescences sulfatées (NA I8) dont le matériau est toujours un sable.

+ Sols Salés par l'évaporation d'une nappe et d'une saumure

- Sols à croûte saline

ex : NB 79, à croûte de thenardite, sur dépôts organiques, sulfurés, limonoux.

II-2 Propriétés Analytiques

Les taux de matière organique et les C/N sont bas pour des sols bien pourvus en eau toute l'année; ils sont respectivement et en moyenne de 0,35% et 8,0, avec des minima de 0,17% et 6,4 dans les horizons supérieurs des sols à natron et à efflorescences natronées, et des maxima de 0,43% et 11,4 dans l'horizon organique d'un sol à efflorescences sulfatées, de type hydromorphe. Les taux décroissent régulièrement avec la profondeur (0,15% en moyenne et C/N de 6,5), à l'exception des sols à alcali et hydromorphes calcaires à alcali qui, formés sur alluvions polyphasés, présentent parfois des niveaux organiques enfouies, tel NA 14 GIDIGIR qui à 125cm est formé d'un niveau à 0,8% de matière organique et à C/N de 12.

Les textures les plus homogènes sont celles des sols à efflorescences et à natron, formées par la couverture sableuse, et présentant parfois un horizon plus argileux en profondeur (8 à 10%) d'argile vers 50-100cm contre 1 à 5% en surface) coïncidant à peu près avec le toit de la nappe. Les sols salés à amas ou nodules calcaires se forment sur des lits variablement argileux (10 à 30%) reposant sur les sables de la couverture; ces alluvions sont souvent organiques, sulfurés; les faciès les moins homogènes sont ceux des dépressions allongées en axe d'écoulement longeant les anciens rivages du Tchad (exemple : entre Gidigir et Gidimouni); les faciès les plus limoneux sont ceux des cuvettes d'aspect lacustre du Sud du Manga (ex : NB 79 ZOUMBA) ou de l'Est du Mourio (NB 24 BOUNE).

Il existe deux grands types de répartition des sels solubles en saison sèche dans les profils. Dans les sols à efflorescence et à natron les taux croissent vers le sommet à partir d'un minimum situé dans la nappe phréatique (tableau 35). Dans les sols à matériau plus argileux et hétérogène l'horizon le plus salé est à l'intérieur du profil au-dessus du niveau de saison sèche de la nappe;

le minimum est encore dans le magasin de cette dernière, dans les sables emboitant les dépôts polyphasés; de plus les taux de sels solubles sont plus élevés que dans les sols sableux, et, dans le profil, croissent avec le taux d'argile de l'horizon. La salure la plus forte a été observée dans un sol à croûte sulfatée, renfermant 25% en poids de sels solubles; la plus faible est celle d'un sol à efflorescences sulfatées, à 0,03% de sels : un sol peut donc être couvert d'efflorescences sans que son profil soit salé. L'interprétation de ces faits est la suivante (WIND 1961) :

TABLEAU 35

SALURE DES DIFFERENTS TYPES DE SOLS  
SALES PAR NAPPE

TYPE DE SOL	HORIZON SUPERIEUR	HORIZON MOYEN LE PLUS SALE	HORIZON AU CONTACT DE LA NAPPE
A NATRON.....	633/506	-	384/307
A EFFLORESCENCES NATRONEES..	141/113	-	97/78
A EFFLORESCENCES SULFATEES	41/33	-	28/22
A ALCALI CALCAIRE	745/596	2110/1688	
HYDROMORPHES CALCAIRES	37/30	74/59	47/38
A ALCALI	à 181/145	à 844/675	à 52/42

1° Chiffre : conductivité de l'extrait salin ((I/I0) en micromhos

2° Chiffre : taux de sels solubles (mg/100g)

1°) Les sels se déposent lorsque la vitesse de concentration par évaporation des eaux de la frange capillaire perchée sur la nappe est supérieure à la vitesse de diffusion; le maximum de la vitesse de dépôt des sels est au sommet de la frange, elle est minimum au contact de la nappe. Le taux de sels solubles d'un échantillon pris dans la nappe (en général un sable) est en effet voisin du produit de la concentration de l'eau de la nappe par la porosité (40mg/100g pour une eau à Ig/I), et c'est le minimum du profil.

2°) La hauteur de la frange capillaire au-dessus de la nappe décroît avec la vitesse d'évaporation; pour des valeurs de cette dernière dépassant 1mm/jour et 1mm/jour cette hauteur est plus grande dans un sol sableux que dans un sol argileux, moins perméable. Au Niger Oriental l'évapotranspiration est au moins égale à 5mm/jour; la frange capillaire a plus de chances d'atteindre la surface du sol et de produire des efflorescences en sol sableux; de fait seul ce type textural en porte; pour des profondeurs de nappe comprise entre 45 et 90cm la profondeur maximum pour une argile homogène devrait alors être de 30cm. De plus la formation d'efflorescences en milieu argileux est gênée par la plus grande profondeur de la nappe générale qui circule dans les sables sous-jacent et leur maintien défavorisé par un couvert végétal moins abondant, voire nul (limons en plaquettes), qui ne les protège pas de la déflation éolienne.

3°) dans un sol polyphasé la hauteur de la frange capillaire, pour la même vitesse d'évaporation et une granulométrie moyenne donnée, est plus faible si la finesse des dépôts décroît vers le sommet (et inversement); en particulier le toit de la nappe tend à se localiser tout près de la face supérieure d'un dépôt argileux lorsque ce dernier est surmonté d'un niveau plus sableux, ce qui est le cas de la majorité des alluvions à alcali. Les sels se concentreront donc de préférence dans les horizons à texture lourde. La position du maximum de salure interne peut-être modifiée par une concentration de racines, attirées par un niveau à réserves hydriques et chimiques plus importantes (alors que dans un sol homogène l'enracinement croît vers la surface).

4°) La salure des sols sableux est limitée par le lessivage des sels solubles pendant la saison des pluies; ce processus joue moins bien dans les sols polyphasés dont les horizons les moins perméables tendent à former des réservoirs de sels. Ils favorisent aussi, lors du retrait de la nappe (périodes à faible plu-



viométrie), la formation du retrait de saumures ou de nappes porchées sursalées (PIRARD).

La nature chimique des sels solubles reflète celle de la nappe. Au type le plus fréquent  $\text{CO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$  correspondant des efflorescences, des croûtes natronées (60 à 90% de carbonate et bicarbonate de soude) et, dans le sol, des sels solubles à 40-50% de natron. Le type  $\text{SO}_4 - \text{CO}_3 - \text{Cl}$  donne des efflorescences, des croûtes sulfatées. Les chlorures sont peu abondants (maximum observé 5% dans un dépôt de saumure). Les sels solubles de magnésium (sulfate, chlorure) sont rares, à la fois parce qu'il est peu abondant dans la nappe et qu'il est immobilisé surtout sous forme de carbonate; une exception curieuse est celle des efflorescences à 48% de sulfate de magnésium de NA 18 WACHA, dans la vallée de la Korama aux pieds du Damagaram. Les sels de potasse ne dépassent pas 10% du total.

Les eaux déposent aussi de grandes quantités de carbonate de calcium et de magnésium dans l'épaisseur même des sols, les efflorescences n'en renfermant que des traces (2% des sels totaux, solubles et peu solubles), et les croûtes pas du tout (tableau 36). La zone d'accumulation maximum coïncide avec l'horizon le plus salé dans les sols polyphasés non limoneux, et à tendance à surmonter de peu la nappe dans les sols sableux homogènes, localisation en fait voisine de la précédente. Les horizons supérieurs peuvent en être dépourvus, et ils disparaissent au-dessous de la limite dosable (1%) dans les sols pratiquement non salés à efflorescences neutres. Cette localisation dans le sol, près de la nappe, est due à ce que le dépôt de ces carbonates dépend surtout de l'évasion du gaz carbonique, donc de l'élévation de température subie dans les horizons supérieurs. Leur abondance locale est accentuée par leur lessivage plus difficile par les eaux de pluies. Dans les sols limoneux (à croûte, à alcali calcaires) ce processus d'accumulation peut se superposer à la richesse propre de ces dépôts en calcaire. La présence d'amas ou nodules calcaires semblent liés plutôt aux sols ou horizons à variations d'humidité importantes et rapides qu'à des taux élevés en carbonate. On les observe surtout sur les sols polyphasés (nappe plus profonde, perméabilité variable).

TABLEAU 36

## TAUX DE CARBONATE DE CALCIUM ET DE MAGNESIUM DE SOLS SALES PAR NAPPE

Type de sol	Taux maximum du profil.	Taux d'un horizon pris dans la nappe, ou le plus profond
à natron.....	X	3,0% (5cm sous le toit)
à efflorescences natronées....		2,4% (5cm sur le toit)
à alcali calcaire (limoneux)	32 %	8,2% (15cm sous le toit)
à croûte (calcaire).....	32 %	10,2% (toit de la nappe)
hydromorphe calcaire à alcali	1,2%	0
" " "	22,4%	8,2%

Un problème particulier est posé par le sol à croûte de thénardite de Zoumba (NB 79), déjà examiné par SOULA. Ce sulfate est présent dans la croûte et tout le profil, où il est accompagné de quantités importantes de carbonate de calcium et magnésium, et où il ne cristallise que dans les horizons limoneux et non dans les horizons sableux. La répartition des sels solubles est de type croissant vers la surface; leur originalité est dans l'absence pratiquement complète de carbonate de sodium, d'où, les chlorures et le potassium étant aussi rares que d'habitude, la quasi exclusivité du sulfate de soude; et cela au point que les efflorescences terreuses carbonatés qui coiffent les buttes dominant les plaques de thénardite ne renferment pas comme on pourrait le croire à première vue, du natron mais un mélange à parts à peu près égales de carbonate de calcium, de magnésium, et de sulfate de soude. L'explication la plus simple est que dans la nappe la somme Ca + Mg est supérieure à la somme  $CO_3 + CO_3H$ , cas réalisé une fois sur deux dans la région; il ne peut alors se déposer théoriquement pas de natron, mais uniquement du sulfate et du chlorure de sodium. Cette élimination peut être parfaite par les réactions suivantes : oxydation par l'air ou voie bactérienne des sulfures ferreux présents dans ces dépôts - formation d'oxydes de fer (concrétions du profil) et de l'anion  $SO_4^-$  ce dernier déplace Na de  $CO_3 Na_2$  et forme  $SO_4 Na_2$  en libérant  $CO_2$ .

Le complexe absorbant est saturé et l'ordre décroissant des cations est le plus souvent Ca, Na, Mg, K; c'est celui des "solontchaks calciques". Dans l'horizon supérieur de sols à natron il est Na, Ca, Mg, K avec les proportions d'un "solontchak sodo-calcique". Le taux relatif sodium croît avec le taux de sels solubles dans les sols pauvres en calcaire (à natron, à efflorescences) :

Na/T en surface : 0,47 (sol à natron); 0,28 (efflorescences natronées)  
0,11 (efflorescences neutres)

Na/T en profondeur: 0,20 à 0,30 (sols à natron, à efflorescences natronées)  
0,05 (à efflorescences neutres)

Na/T au niveau de la nappe : 0,05 à 0,13

Dans les sols polyphasés cette influence des sels solubles (sodium) est limitée par celle du calcium du carbonate, dont les zones d'accumulation coïncident avec celle des sels solubles. Le rapport Na/T est alors maximum en surface (0,3 à 0,5), à peu près constant dans le profil (0,23), minimum dans les sables réservoirs de la nappe (0,13 à 0,25). Un profil peu caractérisé de ce type a donné des chiffres plus faibles compris entre 0,04 et 0,11. Le sol à alcali calcaire de BOUNE (NB 24) est fait très exceptionnel, très riche en potassium : Na/T y est compris entre 0,09 et 0,10 et K/T entre 0,14 et 0,17.

Les pH de saison sèche sont généralement élevés :

Horizon de surface de sol à natron : (KAKI)	. . . :	10,2
" " de sol à efflorescences natronées:		9,2
" " d'une croûte à thénardite . . . . .	:	7,2
" " de sol à efflorescences neutres :		5,1 (Hydromorphe)
" " de sol hydromorphes calcaires à alcali . . . . .	:	<u>8,5</u> à 7,4

- Horizons moyens des sols à natrons et efflorescences :
  - natronées . . . . . : 9,0 à 9,8
  - des sols hydromorphes calcaires à alcali: 8,2 à 9,3
  
- Horizons plongés dans la nappe :
  - sols à natron et efflorescences natronées 8,1 à 9,0
  - sols à efflorescences neutres . . . . . 6,7
  - sols hydromorphes calcaires à alcali. . . 7,7 à 8,8

Ph, taux de sels solubles, rapport Na/T sont liés par des corrélations positives, la meilleure liaison existant entre les deux premiers facteurs. En effet le pH dépend surtout de l'équilibre (rapport CO<sub>3</sub>/CO<sub>3</sub>H) et de la concentration des sels dans la solution du sol lors du prélèvement, alors que Na/T est fonction des concentrations en cations de la solution, à dominante Na en saison sèche, Ca en saison des pluies, prises sur une période plus longue.

### II-3 Les chaînes à Sols Salés par Nappe

La chaîne la plus complète de sols que l'on puisse rencontrer dans une dépression natronée est la suivante, de haut en bas :

- I°/- sur la couverture sableuse :
  - un sol bien drainé peu évolué, ferrugineux, peu lessivé ou brun rouge.
  - un sol à drainage ralenti, à faciès "brun" : apparition des doums.
  - un sol à efflorescences natronées : apparition d'Eragrostis Cambessiadana.
  - un sol à natron : apparition des Sporobolus spicatus
  
- 2°/- sur les alluvions emboîtées dans les sables :
  - un sol à croûte saline si les conditions locales d'alimentation et l'imperméabilité du fond permettent la formation d'une mare temporaire.
  - un sol à alcali calcaire si la nappe est proche de la surface (45cm)
  - un sol hydromorphe calcaire à alcali si la nappe est plus profonde.

#### II-4 Utilisation

Sols à efflorescences neutres : ce sont en fait des sols hydromorphes à engorgement de nappe; leur texture et la proximité de la nappe devraient en faire de bonnes terres horticoles.

Sols à efflorescences natronées : l'apparition du natron n'y est qu'un phénomène saisonnier n'atteignant que la partie supérieure du profil, mais il suffit alors à déprimer les cultures (pH 9, baisse de rendement de 80%). Il semble difficile d'abaisser localement le niveau de la nappe à plus d'un mètre de profondeur, moyen efficace d'empêcher la remontée des sels, faute de dénivelées. La nappe sous-jacente est généralement assez peu salée pour qu'un arrosage copieux permette un dessalage suffisant, les sols drainant bien, tant que la nappe ne sera pas trop proche de la surface (45cm).

Sols à natron : pauvres en matière organique, ils sont de surcroît associés à des sols à réservoir de sels (alluvions) qui en interdisent l'utilisation normale, en sursalant localement la nappe.

Sols à alcali calcaires, Sols hydromorphes calcaires à alcali, ce sont des sols à éviter car leurs niveaux argileux font office de réservoir de sels et en compliqueraient le dessalage.

Sols à croûte : ils alimentent quelques industries locales d'extraction.

#### II-5 Cartographie

Ils ont été cartographiés sous les noms de la classification française suivant :

- Sols salins : sols salés à sols neutres, soit sols à efflorescences en croûte sulfatées.
- Sols à alcali non lessivés : sols à efflorescences natronées, sols à natron, sols à alcali calcaires, sols hydromorphes calcaires à alcali.

Ils figurent simultanément en association avec des sols peu évolués d'apport intergrade vers les sols subarides brun rouge dans une unité parcourue par les anciens axes de drainage du Mounio et de l'erg de Gouré vers les dépressions d'entre Kargerri et Alkamari. Ils sont représentés de même associés à des sols peu évolués intergrade vers les sols ferrugineux peu lessivés dans tout le bassin de la Korama; mais à l'Est du méridien de Djéré ce sont les sols à alcali calcaires et hydromorphes calcaires à alcali les plus fréquents, à l'Ouest les sols à efflorescences. Ils restent indifférenciés dans les associations à sols à hydromorphie partielle de profondeur (à gley, à tache) des grands axes d'écoulement; mais la Korama est surtout formée de sols à efflorescences, les petits drains de l'erg de Guidi mouni de sols à efflorescences natronées et de sols à alcali sur alluvions. Enfin les sols à croûte ont été associés aux brun rouge jeunes de la région des "laos" à l'Est d'Alkamari.

## BI-2 LES SOLS SALES PAR NAPPE DES RIVES DU LAC TCHAD

### I2-I Description sommaire des rives Nord-Ouest du lac Tchad

Réf. I° partie II C 32I et BOUCHARDEAU.

La côte est basse, plate, sableuse, séparée de l'intérieur par un cordon, et soumise à la crue annuelle d'amplitude variant entre 1,0 et 1,5m. De Boso à l'angle Nord-Ouest elle est sensiblement régularisée; au-delà elle est profondément découpée selon la direction dunaire transversale NW-SE que reprennent au large des îles de l'Archipel. On distingue du pied du cordon au lac, au moment de l'étale de la crue, trois zones :

- Une première bande à sols sableux de teinte claire couverts d'une prairie sèche à *Panicum turgidum*; *Aristida mutabilis*, *Pergularia* extensive, *Carex* et *Centaurea* sp. dans le Nord, et de cultures (manioc, haricot) dans le Sud. Ils ne sont normalement pas inondés et la nappe y est à une profondeur relativement grande (plus de 1m).

- Une seconde bande à sols noirâtres, couverte d'efflorescences, sorte de "pré-salé" à *Sporobolus* surchargé de bétail en saison sèche. Elle correspond aux digitations de la côte et disparaît vers le Sud du quatorzième parallèle. Elle est inondée en totalité ou partie selon l'année et la nappe reste à faible profondeur sous les surfaces encore exondées lors de la crue

(environ à 50cm).

- Une frange constamment immergée à faible profondeur (moins de cinq mètres) couverte de roseaux (*Echinochloa pyramidalis*) et prolongée au large par des hauts fonds, crêtes dunaires arasées et noyées.

Dans cette partie du lac les fonds et les rives sont sableuses (BOUCHARDEAU), dépourvus de ces dépôts de colmatage d'origine fluviatile qui caractérisent le lac au Sud de la Grande Barrière. Au Nord de la Boso la proximité du delta de la Komadougou se traduit par des niveaux plus argileux intercalés dans les sables. Près de N'Guigmi le cordon actuel repose sur des dépôts lacustres anciens (diatomites) et limons alcalisés "kakis" qui peuvent ainsi affleurer sous les sables riverains.

La salure des eaux peu brassées du lac croît régulièrement vers le Nord sous l'influence d'une forte évaporation (2.260mm/an) uniquement compensée par des apports méridionaux (voir I° partie II B 244). Cette concentration est maximum dans les bras côtiers, aux eaux mal renouvelées, et dans la nappe qui se raccorde aux eaux du lac, eaux du lac (natron mg/l) :

- I30 à BOSO
- 240 à NGUIGMI
- 400 au Nord (mesures GUICHARD Avril 1957).

bras côtier à N'GUIGMI : 768mg/l (dont 65% de natron (FAURE 1960)  
nappe à N'GUIGMI : 2500 mg/l dont 12% de natron, 48% de sulfate de sodium et 14% de chlorure.

Il est possible que ces chiffres puissent varier avec le volume des crues annuelles. On sait de plus que pendant les périodes de faible hydraulicité (1907), le lac Nord a pu s'assécher jusqu'au delta de la Komadougou, le courant venu du lac Sud n'étant alors plus assez puissant pour franchir la Grande Barrière. On peut donc prévoir que les sols des rivages ont d'autant plus de chances de se saler que leur latitude est plus élevée :

- la salure des eaux du lac et de sa nappe croît vers le Nord d'autant plus que la période est plus sèche.
- la découpe croissante des côtes réduit la mobilité des eaux septentrionales.

- en même temps la largeur de la zone exondée soumise à une évaporation de nappe croît, la côte devenant de plus en plus large et plate.
- cette nappe peut se recharger en sels dans les dépôts anciens visibles à partir de Kabelawa.

### I2-2 Morphologie

Le profil NB 86 N'GUEMI a été observé au Nord du lac, dans la prairie à Sporobolus :

état de surface : nombreux et petits touradons à Sporobolus nombreuses efflorescences uniquement entre ces touradons :  
blanches, très abondantes, épaisses de 5mm formées de 68% de carbonate et bicarbonate de soude, 12% de carbonate Ca et Mg, 13% de chlorures.

jaunes IOYR 5/8 ou noirâtres, en enduits peu épais; formées de 61% de natron et 10% de carbonate Ca et Mg, 13% de sulfate Ca, 8% de chlorures.

rouges 7,5 YR 2/0; feutrage (algues ?) emprisonnant des sels : 33% de natron, 26% de carbonate Ca et Mg, 19% de sulfate Ca; 10% de chlorures.

- 0 - 20cm Brun noirâtre; à 5cm de profondeur une ligne plus organique bleutée (gley) discontinue (probablement ancienne surface du sol); texture sableuse (mode 0,21mm); pas de ségrégations, mais des niveaux plus bleutés (gley) sablo-argileux; humide (frange capillaire), ne semble pas structuré, enracinement linéaire vertical très abondant; Très effervescent (carbonate Ca, traces carbonate Na).
- 20 - 44cm Sables blanc jaunâtre à taches verdâtres malodorantes (sulfures) de 4-5cm; bouillant; quelques racines; non effervescent.
- 46cm nappe; sables bouillant.



Ce sol est soumis à un engorgement de nappe permanent à faible profondeur, pendant la crue, auquel on peut attribuer le type même du profil à horizon humifère foncé reposant sur des sables magasin décolorés, le gley se développant dans les zones les moins poreuses et les plus organiques, à dépôt de carbonates de calcium et magnésium dans le profil et d'efflorescences natronées en surface. On observe également un début de formation de "salant noir" dépôt de traces de matière organique dissoutes par la solution natronée. La texture est sableuse et le sommet du profil rapporté. Bien qu'élevé, la salure n'est pas en rapport avec la faible profondeur de la nappe; (on doit admettre qu'elle est limitée avec la faible profondeur de la nappe); on doit admettre qu'elle est limitée par le lessivage pluviométrique, la déflation éolienne, les crues et montées occasionnelles de la nappe pendant les années plus humides.

Ces sols à efflorescences natronées, à gley de profondeur, passent à des sols à accumulation calcaire par évaporation de nappe mais non salés, situés sur la zone la plus haute du rivage et normalement à l'abri de la crue annuelle, tels NB 85 N'GUIGMI :

état de surface : 10-15cm de sables déliés (passage bétail)  
couverts d'une pellicule de grains très  
grossiers (2-3mm). parsemé de buttes sableuses (nebkas) hautes au plus de 50cm.

- 0 - 6cm brun très clair; texture sableuse, moyenne (0,2mm); structure massive, débit nuciforme; cohésion faible; chevelu dense; très effervescent (CO<sub>3</sub> Ca).
- 6 -15cm Un peu plus foncé; même texture; structure massive, assemblage particulière; très effervescent; calcaire concentré en petits grains; même enracinement.
- 15- 17cm Noirâtre; limité au sommet par une fine croûte (ancienne surface du sol); sableux; hétérogène; des lits plus organiques à structure finement grenue; des agrégats sableux plus fins et clairs, anguleux, à la base; très effervescent et riche en amas calcaires.
- 17 -27cm Brun jaune foncé; hétérogène; très sableux; structure massive, à débit non orienté; porosité tubulaire peu développée effervescent; enracinement très abondant.

27-45cm sables moyens à grains colorés (rouges, jaunes, verts) non calcaires, particulaires; anracinement vertical abondant (ancien niveau de nappe)

45-51cm Idem, plus riche en grains verdâtres.

140cm Nappe.

Le profil est peu humifère, coiffé sur les quinze premiers centimètres de sables faiblement consolidés, eux-mêmes enfouis sous une épaisse couche de sables libres. L'accumulation de calcaire débute actuellement à 113 cm au-dessus de la nappe, mais cette dernière était beaucoup plus haute lorsque le carbonate s'est déposé; alors la frange capillaire devait s'étendre entre la surface du sol, couverte de 15cm de sables déliés fraîchement déposés (horizons 0-15cm), et une profondeur minimum de 27cm. Ce haut niveau ne s'est plus reproduit depuis la dernière venue de sables libres. On<sup>ne</sup> trouve plus les traces morphologiques des sels solubles qu'il aurait pu déposer.

Vers le Sud la prairie à Sporobolus et ses sols disparaissent; la prairie sèche se raccorde à la zone submergée par une bande étroite (ordre de la centaine de mètres, soit dix fois moins que la prairie à Sporobolus) de sols à hydromorphie temporaire de surface, dont la durée dépend de la crue, et engorgement par nappe à niveau variable (dans un profil situé à 30m du lac, en Janvier 1961, le niveau actuel était de 225cm et la nappe avait laissé des traces à 40cm et 80cm). Ils sont sableux, interstratifiés de lits plus argileux, légèrement organiques sur 15cm environ, montrent des niveaux à ségrégations ferrugineuses (taches linéaires), ne sont pas structurés, et présentent un début d'accumulation calcaire par nappe.

Cet ensemble de sols riverains du lac, à engorgement de profondeur (gley fréquent), partout, engorgement temporaire de surface dans la zone actuelle de battement de la crue, n'est donc manifestement salé que par évaporation de la nappe dans les zones où elle est suffisamment proche de la surface pour avoir un débit d'évaporation suffisant (en gros à moins de 100 cm, formation de salant sûre à 50cm), essentiellement dans les prairies basses et plates à Sporobolus du Nord de la Côte. Cette salure est peu prononcée, les horizons supérieurs restant du type "à efflorescences", d'aspect normalement organique.

### I2-3 Propriétés analytiques

La matière organique se concentre dans les 15-20 premiers centimètres des sols à efflorescences et à engorgement occasionnel de surface (types NB86 et 91) à des taux intéressants : 0,9 à 1,2% et C/N de 11-12. Les taux d'azote sont bons (0,4 à 0,6‰) et ceux de phosphore peuvent être exceptionnels (0,4 à 1‰). Mais dès 20 centimètres on ne note plus que des traces de matière organique (moins de 0,1%). Les sols de la prairie sèche sont pauvres en matière organique (taux de l'ordre de 0,2% et C/N de 8) : on peut incriminer aussi bien un drainage vertical meilleur qu'une dégradation superficielle accentuée.

Les textures sont de deux types, mais toujours essentiellement sableuses. Au Nord du 14<sup>ème</sup> parallèle ce sont des sables très pauvres en éléments fins (argile + limon inférieur à 1,5%) et taux de sables grossiers de l'ordre de 80 à 85% le plus souvent. Au Sud les sables sont beaucoup plus fins, avec des taux de sables grossiers ne dépassant pas 3%, avec des taux d'argile pouvant atteindre 30% dans des lits; ces types granulométriques sont identiques à ceux des sables du Kadzél et de la Komadougu, alors que ceux du Nord rappellent ceux de dépressions du cordon de TAL; ils reflètent donc ceux des sols de l'intérieur.

Les taux de sels solubles croissent vers la surface des sols à efflorescences où ils atteignent 200 mg/100g; dans les autres types de sols la variation est irrégulière entre un maximum (60-80mg/100g) situé 60 à 80cm au-dessus du niveau actuel de la nappe et le minimum de surface (50mg/100g). L'abondance du natron dans les efflorescences est évidemment due à la composition chimique des eaux (voir NB 86). Dans ces sols la présence de carbonate de calcium et magnésium est inséparable de celle des sels solubles : dans les sols à efflorescences des taux de l'ordre de 8% en surface s'accompagnent d'une répartition assez uniforme dans l'horizon, à l'inverse des sols à nappe plus profonde où l'accumulation est maximum en profondeur et se concentre en amas.

Ces sols sont saturés; l'ordre d'abondance décroissante des cations échangeables est Ca, Mg, Na, avec des rapports Na/T faibles, de l'ordre de 10 pour les sols à efflorescences, 2-6 pour les autres. La somme des bases est de l'ordre de 3-5 méq/100 g en surface des sols sableux du Nord, 2-3 méq/100 g en

profondeur; dans les sols du Sud elle est comprise entre 3 et 12 méq selon la texture.

Les sols les plus salés ont des pH de 9,3-9,9 en surface, 8,4-9,3 près de la nappes; les moins salés (hydromorphes du Sud) de 8 en surface, 7,0 en profondeur.

Les sols à efflorescences natronées peuvent être classés comme "solonchaks calciques"; les autres ne sont pas des sols salés, mais leur pH encore élevé et la présence de carbonate de calcium montrent qu'ils subissent des dépôts de sels solubles intermittants, effacés par lessivage.

#### I2-4 Utilisation

Nous allons envisager ci-dessous l'utilisation de l'ensemble des sols riverains de la partie Nigérienne du lac, y compris celle des sols à hydromorphie totale dont nous n'avons pu faire une prospection normale en 1962 car ils ne sont exondés qu'en hivernage. Ils diffèrent des sols à efflorescences, semble-t-il, par un horizon organique plus épais et moins minéralisé, et probablement plus acides.

Le tableau 37 donne une idée des cultures sur sols riverains du lac dans la région de N'GUIGMI en 1960; les surfaces sont très faibles et les rendements, par rapport aux moyennes du secteur agricole Est, médiocres en dehors de ceux du riz et des oignons. Nous n'avons pas de renseignements pour la région de Bosso; sur place on a l'impression d'une situation légèrement meilleure. Les facteurs limitants les plus évidents sont, pour chacune de ces cultures :

- pH trop élevé : riz
- textures trop légères : coton, maïs
- plan d'eau trop superficiel : manioc, patate douce, coton (République du Tchad).

TABLEAU 37

CULTURES SUR SOLS RIVERAINS DU LAC TCHAD  
SOUS SECTEUR AGRICOLE DE N'GUIGMI  
1960

CULTURE	Surface (ha)	Rendement moyen (qx/ha)	Conductivité li- mite du sol (mil- limhos)
<u>RIZ</u> .....	163	20	1,43
<u>MAIS</u> .....	60	6	1,43
<u>COTON</u> .....	100	2	2,0
CANNE A SUCRE.....	2	-	-
PATATE DOUCE.....	30	60-80	-
MANIOC.....	80	50	-
OIGNONS.....	60	250	1,43
<u>LEGUMES</u> .....	250	x	
<u>TOTAL</u> .....	745 Ha		

NOTE : Les conductivités sont celles de l'extrait salin et extraits des tables de RIVERSIDE.

D'autre part, les résultats excellents obtenus dans la région de Bol (République du Tchad) en culture irriguée de sols à hydromorphie totale protégés de la crue du lac par un barrage amènent à comparer ces "sols de polders (PIAS 1960)" aux nôtres :

	SOLS DE POLDER	SOLS RIVERAINS DU NORD- OUEST DU LAC
salure du lac	130 à 200mg/l	130 à 400mg/l
type textural	niveau semi tourbeux sur argile feuilletée	sableux
taux de matière orga- nique	5-23%	1%
pH	7-8	8-9

Il est probable que la prospection des sols à hydromorphie totale découvrirait sur la rive Nigérienne des sols plus organiques et acides, mais l'infériorité texturale, entraînant celle de la richesse en bases, indirectement celle du stock organique, s'étend malheureusement à tout le lac Nord, en dépit d'une légère amélioration autour du delta de la Komadougou. La salure, en quelque sorte de base pour celle des nappes, du lac côtier des polders est la même qu'au Niger jusqu'à la latitude 14 Nord, au-delà de laquelle les sols sont trop sableux et trop alcalins.

Ce littoral mériterait toutefois une étude plus détaillée qui permettrait de tirer le meilleur parti d'un climat autorisant l'alternance de cultures, de la zone tempérée en saison sèche fraîche et de cultures tropicales le reste du temps, et d'un immense réservoir d'eau. Nous donnons ci-dessous les éléments, connus ou à préciser, de cette mise en valeur :

1°.- Régime et qualité des eaux du lac. Le niveau de crue du lac pendant les cent dernières années a varié entre les cotes 284,25 (submersion totale jusqu'au pied du cordon) et 280,85 (lac Nord transformé en marécage). Cela compromet l'existence d'installations d'irrigation utilisant l'eau du lac qui n'est plus alimenté au-dessous de la cote du seuil 281,5 de la Grande Barrière.

La variabilité de la crue annuelle oblige à déplacer les champs; il est donc nécessaire de l'éliminer ou de la contrôler par des barrages. L'appréciation des eaux du lac figure dans le tableau 38; elle est correcte jusqu'au taux de 200mg/l; au-delà apparaissent des risques moyens

TABLEAU 38

## VALEUR DES EAUX DU LAC POUR L'IRRIGATION

CALISATION	Concentration (mg/l)	Conductivité millimhos	SAR	Classe RIVERSIDE	CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> résiduel méq/l	Qualité WILCOX	TEXTURES LIMITE S
<u>ax du large</u>							
BOSO.....	130	0,26	2	C1 S1	1,35	très bonne	Pas de limite
N'GUIGMI...	240	0,48	2,8	C2 S1	<u>2,5</u>	bonne	argile " "
RD du lac...	400	0,8	3,6	C3 S1	4,2	admissible	argile (irrigation continue - pas de limite)
<u>ax Côtières</u>							
N'GUIGMI (pH 8)	<u>770</u>	1,54	5	<u>C3 S2</u>	8,0	douteuse	limon sableux argile

## NOTES

Classes de RIVERSIDE de concentration :

C1 : pas de risque de salure - drainage minimum.

C2 : élimination de cultures sensibles - drainage nécessaire.

C3 : dose de lessivage importante - choix de plantes à bonne tolérance.

Classe de RIVERSIDE de risque d'alcalinisation.

S1 : risque nul

S2 : risque d'alcalinisation des textures correctes.

CO<sub>3</sub> Na<sub>2</sub> résiduel : (CO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub> H) - (Ca + Mg) - toxicité possible au-delà de 2,5 méq.

QUALITE WILCOX Relation empirique entre le taux relatif de sodium et la conductivité.

TEXTURE LIMITE : Textures les plus lourdes admettant la culture irriguée d'une plante très sensible au sel (première indication) ou moyennement sensible (seconde indication)  
(DURAND)

de toxicité par les carbonates et bicarbonates de soude. Ces chiffres sont donnés sous réserve, car il n'y a pas d'étude systématique de la chimie des eaux du lac, mais des mesures dispersées.

2°.- Régime et qualité des eaux de la nappe. Son importance pratique dans cette partie du lac est augmentée par la faiblesse des réserves hydriques des sols sableux (3-6% en poids) et l'instabilité du niveau de crue, soit qu'on l'utilise pour l'irrigation, soit que les cultures utilisent l'eau de la frange capillaire. On a vu que lorsque cette dernière atteignait la surface du sol un débit d'évaporation important provoquait une salure superficielle. Ces données devraient être précisées (relation hauteur de la frange-débit pour chaque type textural) ainsi que la composition chimique (dépôts virtuels de natron, sulfates Ca et Carbonates Ca et Mg). L'influence du lac et de la pluviométrie sur la nappe sont également à considérer : dans le polder expérimental de BOL (PIAS 1960), le toit de la nappe est peu perméable (argile fouilletée) et toujours inférieur au niveau du lac, dont elle est séparée par un massif (dune) filtrant; ses variations de niveau reflètent alors celles de la pluviométrie (remontée en Août, coïncidant avec son maximum de salure dû au lessivage pluvial des sols); le bilan de la nappe permet cependant de mettre en évidence une alimentation par le lac; les expérimentateurs admettent un fort amortissement de ses variations de niveau dans la nappe dû à la faible vitesse de filtration au travers des terrains (dunes) et aussi à la coïncidence entre la crue et le maximum d'évapotranspiration (Décembre-Janvier). On observe aussi une augmentation régulière de la salure moyenne de la nappe (et par conséquence des sols) au fil des ans; en effet la période d'évapotranspiration aux dépens de la nappe s'étend sur toute l'année, alors qu'antérieurement elle était interrompue par la crue (actuellement stoppée par un barrage) de plus ni les eaux du lac subsistant après construction du barrage ni les eaux de ruissellement pluviales ne sont évacuées, et leurs sels retournent à la nappe. Sur la rive Nigérienne il se pourrait que les variations de niveau du lac se répercutent plus fortement sur celles de la nappe, car :



il n'y a pas de niveau argileux au toit de la nappe et pas toujours d'écran imperméable; dans le Nord on a constaté (profil NB 86 N'GUGMI) qu'elle se raccordait directement aux niveaux de la crue du lac; dans le Sud (NB 9I BOSO), au même moment, on l'a notée à 160 cm au-dessous de la surface du lac, à 30 mètres du bord.

- l'alimentation en eau pluviale pourrait être réduite le long du Kadzel, peu perméable.

3°.- Salures maxima des sols. La légèreté et la perméabilité des sols Nigériens diminuent les risques de salinisation par irrigation.

Sur le tableau 38 on peut vérifier que leurs textures (sableuses au Nord, moins qu'argileuses au Sud) leur permet d'absorber sans risques les eaux du lac, pour un coefficient de concentration de l'eau dans le sol de 1,5. Les doses de lessivage sont également très faibles; le calcul ci-dessous a été fait pour un sol sablo-argileux (sud) :

- dose prévue : 80mm, soit 50% de la capacité de rétention (10%).
- taux maximum de carbonate de sodium tolérable à l'équilibre : 50 mg/100 g.
- concentration en carbonate de sodium résiduel de l'eau d'irrigation dans les sols (double du taux initial) : 2,7 à 16mq/I
- dose supplémentaire de lessivage : 2 à 8m/m.

Pour les mêmes raisons les sels de la nappe sont faciles à éliminer. Il ne nous est pas possible de donner une estimation raisonnée de quantités de sels accumulées annuellement, qui exigerait des mesures répétées sur place; mais nous disposons des observations suivantes :

- en Janvier 1962 le taux maximum observé sur les dix premiers centimètres des sols à efflorescences de N'GUIGMI est de 200mg/100g.
- au même moment on relève 600mg/100g en surface des sols à natron sableux du bassin de la Korama, et 600 à 1.700 mg/100g

dans les sols à alcali hydromorphes sur limons, dans les mêmes conditions d'engorgement.

- en Janvier 1956 J.PIAS et E.GUICHARD relèvent, sur la rive Tohadienne, des taux de 140 à 1.800 mg/100 g sur les vingt premiers centimètres de sols sur limons sableux ou argileux sujets aux remontées de nappe et irrigués.

Il semble donc que ce soient les textures fines, à limon, qui se chargent le plus en sels. Dans les conditions naturelles d'évaporation, pour une profondeur de nappe de 40 à 80cm, une texture finement sableuse, le chiffre de 600mg/100g semble être un maximum pour la période Octobre - Janvier.

-4° - Choix des cultures. L'échelle de salinité convenant aux sols riverains du lac en culture sèche ou irriguée est encore à établir en effet :

- les normes habituelles conviennent à des salures de type neutre (Cl Na)

ainsi l'échelle de RIVERSIDE modifiée par DURAND donne pour conductivité minimum de l'extrait salin de sols salés 1750 micromhos (1.400 mg/100g de sels); or la prairie à Sporobolus apparaît (avec les efflorescences) vers 250 micromhos (200 mg/100g) et, dans l'ensemble des sols natronés du Niger Oriental, entre 100 et 300 micromhos (80 à 250mg).

- l'échelle des taux de bicarbonate, contrôlée par celle des pH, est à priori meilleure, car elle est pratiquement équivalente à une échelle des taux de carbonate et bicarbonate de sodium, sels les plus toxiques. En effet, on sait que le taux de bicarbonate est pratiquement celui des bicarbonates alcalins; d'autre part le pH des sols natronés dépend surtout de l'équilibre bicarbonates/carbonates alcalins, il croît avec la somme des deux sels et décroît avec la tension du gaz carbonique dissous; comme cette dernière est peu variable en surface des sols, la mesure du pH revient à celle du stock de natron (ce qui explique les bonnes corrélations entre le pH et la conductivité); on conçoit dès lors que l'état des sels toxiques en surface des sols natronés soit entièrement déterminé par le pH et le taux des bicarbonates. On peut même se contenter d'une échelle des pH. Sur le tableau 39 on peut voir que les sols

à efflorescences natronées de la prairie à Sporobolus étaient théoriquement inutilisables dans leur état de salure de Janvier 1962; l'accord entre les pH et les concentrations est fort proche de celui d'un salant exclusivement carbonaté sodique. Il reste à compléter ces données et à tester localement l'échelle en grande culture.

Jusqu'à la latitude I4, les plantes à tolérance moyenne aux sels (blé, sorgho, choux, tomates, pommes de terre,) devraient convenir; au-delà des accidents sont possibles et les cultures résistantes (orge, betteraves, coton) sont préférables.

TABLEAU 39

ECHELLE D'ALCALINITE  
DES SOLS SALES RIVERAINS  
DU LAC TCHAD

E C H E L L E D ' A L C A L I N I T E - p H - S O L S S A L E S D E S R I V E S D U L A C T C H A D						
ndements	Taux de CO <sub>3</sub> H mg/100 g.	Conducti- vités par- tielles (micromhos)	pH corres- pondants	Rapport CO <sub>3</sub> /CO <sub>3</sub> H	Conductivi- tés totales classés se- lon les pH (micromhos)	Salinité (mg/100g)
100	20-40	33-66	7,5-8,4	≠ 0	vers 70	vers 55
60-75	50-60	82-99	8,5-9,9	0,02 0,06	S O L S A E F F L O R E S C E N C E S  vers 250	vers 200
20-30	70-80	115-132	9,0-9,5	0,06 ) 0,02 )		
0	100-200	165-330	9,5-10,0	0,2 ) 0,6 )		

Les textures trop légères laissent prévoir, en l'absence d'amendements, de petits rendements pour les céréales et le coton, surtout dans le Nord, du moins pour les variétés que nous avons vues cultiver dans cette zone climatique, en sols plutôt lourds. Les cultures maraichères, au contraire, devraient y prospérer. En général la fertilité naturelle de ces sols est avant tout celle de l'horizon supérieur la fumure organique sera indispensable. Dans les zones où il serait techniquement impossible de maîtriser les variations de niveau du lac et de la nappe il serait indiqué d'améliorer les paturages naturels par l'introduction d'espèces plus productives.

L'extension des rizières n'a pas de limites pédologiques; même sans contrôle de la crue il est possible d'améliorer les conditions de culture : prévision des dates et niveau de la crue, choix de variétés à cycles végétatifs de durée appropriées, repiquage.

En résumé : les sols et les eaux les plus favorables sont situés au Sud du parallèle I4; les sites les meilleurs et les surfaces les plus grandes sont au Nord; dans tout aménagement il faudra préférer les eaux du lac à celles de la nappe; le niveau de cette dernière devra être abaissé à plus d'un mètre en période d'assez; fumures et amendements de textures sont nécessaires; le contrôle ou au moins la prévision de la crue sont indispensables; une première étape d'utilisation pourrait être l'extension et l'amélioration de l'association maraichage, riziculture, élevage affouragé.

#### I2-5 Cartographie

Les sols de la prairie sèche, normalement à l'abri des crues actuelles ont été classés comme sols à pseudogley de profondeur, à amas calcaires, sur dépôts sableux du lac Tchad; ils forment une unité distincte étirée du Nord au Sud aux pieds du cordon. Les sols à efflorescences natronées de la prairie à Sporobolus, soumis à inondation, figurent, sous le nom de "sols à variation de salure suivant celle du lac Tchad, dans l'unité de "Sols à Hydromorphie totale temporaire sur formation sableuse de bordure du lac Tchad" qui désigne les hauts fonds côtiers à roseaux.

IV B2 LES SOLS DES DEPOTS DE COLMATAGE SALES DE LA CUVETTE TCHADIENNE.

La nappe phréatique s'enfonce à des profondeurs où elle ne peut plus agir sur la salure des sols dans trois secteurs de la cuvette tchadienne (voir I° partie II B 24I et pl. I8 fig.39) :

- sous le Kadzel, zone de colmatage continu : profondeur de 40 à 25 m.
- sous la région Malwa-Dungass Magaria, zone de colmatage discontinue : profondeur supérieure à 5m.
- sous l'ensemble Tchidi N'Gourbaybe - Tioldé, terrasse de SAYAM où le colmatage ne touche que quelques cuvettes : profondeur de 5 à 25m.

Le drainage des sols sur matériaux de colmatage reste difficile; la plupart subissent encore un engorgement temporaire de surface dû aux eaux de ruissellement ou de crue (Komadougou); lorsque cette alimentation est suffisamment abondante un engorgement temporaire de profondeur peut apparaître. Les profils sont d'aspect généralement hydromorphe, à taches, ou d'aspect "brun à drainage réduit", ou vertisolique si la texture s'y prête; ils ont parfois conservé des structures (laminaires, en plaquettes) ou des traits d'hydromorphie (niveaux organiques très foncés, ségrégations ferrugineuses orientées selon les joints) hérités d'un milieu marécageux ou lacustre. Ils possèdent parfois des caractères halomorphes d'ordre analytique : forte conductivité, pH élevé, taux de sodium échangeable excessif, fréquemment associés à des taux de carbonate de calcium et magnésium élevés : nous les interprétons comme des sols anciennement salés par évaporation d'une nappe ou d'eau lacustres dont le drainage, insuffisant, n'a pu éliminer complètement les sels, ni rééquilibrer les cations échangeables.

Les matériaux de ces sols forment deux grands ensembles (voir I° partie IIB 234) :

Les dépôts situés au-dessus de la cote 300 (extension 2-3-4), à rapport L/A élevé et argiles à fortes capacités d'échange.

Les dépôts situés au-dessous de la cote 300 (Kadzel-Komadougou) moins limoneux et à capacité d'échange plus basse.

B2-I LES SOLS DES DEPOTS SALES DU TCHIDI N'GOURBAYBE ET DU TIOLDE ET DE LA TER-  
RASSE DE SAYAM

2I-I Morphologie

Dans les points bas des cuvettes ou sillons de ces régions on remarque parfois des surfaces de teinte claire grisâtre, d'aspect pulvérulent, à tapis graminéen ras à base de Schoenefeldia gracilis, formant entièrement le fond horizontal de ces dépressions, ou s'y répartissant par taches lenticulaires au milieu des sables bruns ou gris des sols subarides à drainage réduit ou hydromorphes.

La partie supérieure des profils correspondant a en moyenne l'aspect du sommet de NB 52 KELAKAM :

- 0 - 20cm gris, homogène; finement sablo-argileux (toucher limoneux); structure massive; débit irrégulier; cohésion forte; dur; très compact en dehors de nombreux pores tubulaires; fait irrégulièrement effervescence (0,7% de carbonates).
- 20 - 40cm brun clair; sablo-limoneux; structure massive à débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire fine bien développée; nombreuses racines entourées de ségrégations ferrugineuses; fait effervescence.
- 40cm... plaquettes de "limons calcaires" désagrégées, blanches, à faces supérieures plus foncées, parcourues de racines; très effervescent (12% de carbonates).

La base est formée d'un empilement de dépôts dont NB 53 KELAKAM donne un bon échantillonnage :

- 0 - 30cm sol à pseudogley
- 30-95cm gris très clair; sablo-limoneux à argilo-limoneux; calcaire; formé de plaquettes désagrégées assez fines; porosité tubulaire.

- 95 - I56 cm jaune verdâtre; un peu plus gris vers le centre; de petites ségrégations ocre à la base; finement sableux, massif, débit de plus en plus polyédrique vers la base; cohésion moyenne à forte; calcaire dans la masse, avec de petites nodules.
- I56 - I60 cm limon blanc très finement feuilleté et très calcaire à ségrégations ocre.
- I60 - I65 cm successivement de haut en bas :
- lit de diatomite blanche et poreuse (0,5 à 1cm)
  - matériau gris limoneux calcaire à ségrégations ocre rouille.
  - lits flexueux de diatomite (1cm).
- I65cm           sables assez fins beige jaune à ségrégations rouille et pores bourrés de calcaire; très compact et dur.

Plus généralement ces sédiments, déposés ou formés en milieu lacustre, se répartissent en trois groupes :

- dépôts détritiques grossiers : sables vert jaunâtre, souvent sulfureux, sables beige, sables décolorés.
- dépôts détritiques fins : limons massifs (= sables limoneux) gris calcaires, limons en plaquettes (= argiles limoneuses) calcaires blancs ou gris, argiles plus ou moins sableuses à ségrégations ferrugineuses.
- dépôts chimiques siliceux (diatomites) ou calcaires (calcaires pulvérulents).

Dans le détail leur succession apparaît quelconque mais le sommet de cette série est formé de dépôts fins, présentant un début de regroupement géographique :

- limons calcaires dans le centre de la zone, cotes 320-326
- argiles dans le Sud (région de Maine Soroa), cotes 318-320
- diatomites dans le Tioldé, cotes 300-305
- sur la terrasse de Sayam on observe un mélange par lits de limons et de diatomites, les premiers dominant vers le Sud-Ouest, les secondes vers le Nord-Est, les cotes passant de 305 à 290.

La base en est formée d'un sable qui peut être celui de la couverture sableuse qui l'emboîte.

Le type d'évolution de surface est lié au matériau :

- sol à pseudogley de surface ou vertisol (voir III B 22) sur les argiles.
- sol peu évolué, à faciès brun ou gris à drainage réduit, à carbonate de calcium (NB 52 KELAKAM; voir aussi IB3); l'évolution structurale se limite à une fragmentation mécanique par les racines du matériau, sur les limons en plaquettes.
- sol peu évolué, presque un sol minéral brut, sur les distomites, avec parfois une imprégnation secondaire de carbonate Ca et Mg.

En profondeur des traces d'imprégnation organique s'observent au sommet de certains niveaux (limons, diatomites), associées à des ségrégations ferrugineuses, des nodules calcaires, toutes traces de sols hydromorphes actuellement enfouis.

#### 2I-2 Propriétés analytiques

Les horizons supérieurs sont le plus souvent carbonatés; nous n'en avons pas rencontrés de salés, mais ils peuvent être alcalisés; les taux de sels solubles sont compris entre 80 et 160 mg/l, les pH entre 7,8 et 8,6, et le rapport Na/T entre 4% et 14%, toutes valeurs prises en surface. En profondeur certains dépôts, plus particulièrement les limons, peuvent être légèrement salés et nettement alcalisés : taux de sels solubles allant jusqu'à 800mg/l; pH atteignant 9,5, rapport NA/T jusqu'à 20% (NB 53 KELAKAM). Compte tenu de leur absence de différentiation structurale on ne peut les classer que comme horizons de Solontchak calciques.

Les taux de matière organique sont assez élevés : 1,5 à 2%; avec C/N de 10 à 14; les taux de phosphore relativement forts : 0,5 à 1%. Les perméabilités sont toujours faibles (moins de 0,4 cm/h) ainsi que la stabilité structurale.



## 2I-2 Utilisation

Ces sols sont délaissés faute d'eau. Ils sont néanmoins précieux comme seuls matériaux à banco.

## 2I-3 Cartographie-Extension

Les faibles superficies occupées ne nous ont pas permis de les cartographier ni de les mentionner dans les unités à sols subarides des régions sus-précisées. Les matériaux dont ils sont formés se retrouvent par contre en partie dans les sols salés par nappe du reste de la cuvette tchadienne :

- les limons en plaquettes dans les sols à alcali calcaires de BOUNE (NB 24)
- les sables dans les sables à gley des sols à natron (NA 76 BANDE)

## B2-2 LES SOLS A ALCALI DE LA REGION DE DUNGASS-MALWA-MAGARIA

Nous avons précédemment (III B22) noté le voisinage de vertisols et de sols foncés à alcali dans les nombreux couloirs alluviaux qui surchargent les cuvettes de cette région; le profil NA 66 DANTYAO, type de ces sols salés, a été observé sous une végétation différant peu de celle du reste de la dépression à sols ferrugineux peu lessivés à profil foncé (voir IIC 472, NA 73 TINKIM) et à sols sableux à hydromorphie de nappe : Savane arborée à *Faidherbia* et *Hypaene*, *Acacia pubescens* où quelques grandes *Sesbania* et des *Zyziphus mauritiana* déclinent la lourdeur des textures et la compacité des structures sous jacentes :

- |           |  |
|-----------|--|
| 0 - 20 cm | gris noir avec de très légères ségrégations brunes et des plages de sable clair; sablo-argileux; structure prismatique (IO par 5) à tendance cubique au sommet; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire moyenne non orientée; forte effervescence générale plus forte par points. |
| 20 - 50cm | plus noir avec des sables fins clairs dans les fissures presque argileux; structure motteuse, prismatique : fissures de 2 à 5mm tous les 3 à 4cm; sous structure <u>polyédrique</u> , formés d'élément allant de 4 à 5mm, anguleux, à 3 à 4cm, isodiamétriques. des poches à           |

structure grenue; pas de patine; cohésion forte à très forte; porosité tubulaire médiocre; porosité d'assemblage grossière très développée surtout vers 20-30cm; très effervescent, avec grains rares mais plus visibles que ci-dessus (2-3mm); la base fasciculée des souches d'Hyphaene repose sur cet horizon;

Vers 20-30cm quelques noyaux ocres indurés.

50-85cm encore plus noir (passage progressif); argileux; structure polyédrique en assemblage de plus en plus compact vers la base; cohésion excessive; porosité réduite; très nombreux petits nodules calcaires gris blanc à centre durci entouré d'une zone pulvérulente. quelques concrétions ferrugineuses tendres sans cortex ocre-jaune;

Les zones les plus foncées de l'horizon sont décarbonatées.

85-95cm sans transition apparaissent des sables fins éolisés, non calcaires, brun rougeâtres, avec taches ocre-rouille autour des racines, taches jaune diffuses au sein de zones brun-noir (matière organique); concrétions très tendres noires.

95-120cm sables gris blancs à taches jaunes ocre vif et à taches brun foncé; structure massive, presque particulaire; compact.

L'interprétation de ce profil est la suivante :

- au-dessous de 85cm apparaissent les sables des carbonates; le toit de cette dernière a pu coïncider avec le niveau à concrétions manganésifères.

- de 85 à 20cm, restes de sol à engorgement par nappe, légèrement organique, alcalisé; apport de carbonate de calcium et magnésium par nappe.

- de 0 à 20cm; placage (colluvial ?) plus sableux et récent ayant enfoui le profil sous jacent antérieurement à l'accumulation des carbonates.

Le sol enfoui argileux a conservé 1,5% de matière organique assez bien décomposée (C/N de 12); la salure est très faible et l'alcalisation moyenne, avec un maximum de ces deux grandeurs dans l'horizon inférieur, dont la structure est également la plus compacte : l'extrait sec passe de 120 à 350mg/100g, le rapport Na/T de 16 à 38%, le pH reste de l'ordre de 8,5. Le taux de carbonate est uniformément de 7,5%. La perméabilité est pratiquement nulle et l'instabilité structurale très élevée.

Ces sols conviennent encore au sorgho, plante adaptée aux sols compacts et modérément alcalisés. Les faibles superficies couvertes n'ont pas permis de les mentionner dans l'association de Sols Ferrugineux Peu Lessivés sur formation sableuse de Malwa où ils se localisent.

B2-3 LES SOLS HALOMORPHES SUR ALLUVIONS FLUVIO-LACUSTRES DU KADZELL ET SUR ALLUVIONS DE LA KOMADOUGOU.

Dans cette étude nous utiliserons partiellement les descriptions et analyses jointes à la carte au I/200.000 réalisées par la SOGETHA dans la vallée de la Komadougou que nous compléterons par nos observations effectuées dans la même région et dans le Kadzel. Nous avons déjà donné les caractères généraux de ce grand ensemble (voir IIB22) à propos des vertisols hydromorphes. Entre les zones de concentration des eaux qu'occupent ces derniers et les levées à sols sableux bruns ou bruns calcimorphes s'étendent de vastes surfaces planes, caractérisées par :

- la succession verticale de dépôts à dominante texturale finement sablo-argileuse, à évolution globale pédogénétique très faible.
- un drainage interne et externe toujours mauvais, dû à la fois à la basse perméabilité des dépôts et au modelé uniformément horizontal, entraînant un engorgement superficiel temporaire (pseudo-gley) généralisé
- des traces évidentes d'engorgement par nappe (ségrégations ferrugineuses et carbonate de calcium et magnésium) ayant occupée divers niveaux lors de la mise en place des dépôts puis disparu depuis (en dehors des berges de la rivière et de ses défluent).
- la présence de niveaux ou sols alcalisés et/ou salés, ces derniers très fréquemment associés à la présence de calcaire, à morphologie variable et indistincte de celle des horizons ou sols indemnes (parfois présence d'efflorescences sur les coupes suffisamment fraîches et humides) et à répartition spatiale peu prévisible.

23-I Morphologie

Nous donnerons comme premier type le NC I2 DEYSA, ouvert dans une plaine faiblement mamelonnée peuplée de quelques *Hyphaene* et *Boscia senegalensis*.

- 0 - 5 cm gris brun, à marbrures très fines brun ocre réticulées; finement sablo-argileux; fissures verticales tous les six centimètres; sous structure massive; porosité tubulaire grossière (Imm) bien développée - pas de carbonates.
- 5 - 25cm 2,5 YR 5/2; brun un peu plus gris en surface : taches diffuses ocres; argilo-sableux; structure polyédrique presque motteuse de moins de 2cm; cohésion très forte; porosité tubulaire médiocre; masse effervescente.
- 25 - 67cm IOYR 6,5/3; brun plus jaune; des taches ocres de 5mm au plus nettes; finement sablo-argileux; structure polyédrique très fine (2-3mm) en assemblage compact; cohésion forte; porosité tubulaire peu développée; moins riche en carbonates; concentrés en amas de moins de 1cm.
- 67cm plan de stratification.
- 67 - 125cm IOYR 8/4 ; blanc; des taches diffuses jaunes de moins de 1cm; des remplissages venus des horizons supérieurs; sables fins non structurés micacés.

Dans ce profil on remarquera :

- les marbrures du premier horizon dues à un engorgement temporaire de surface accrue par l'irrigation : les mesures donnent une perméabilité nulle à l'état saturé.
- les taches ferrugineuses de l'ensemble des horizons profonds, attribuables, par comparaison avec des sols mieux typés à cet égard, à un engorgement par nappe temporaire.
- l'accumulation de même origine de carbonate de calcium et magnésium croissant vers le sommet du profil jusqu'à la profondeur de 5cm, où elle atteint 2%, allant de pair avec une différenciation structurale croissante;
- la compacité et la dureté élevées de l'ensemble du profil, dues à la texture (sables très fins argileux).
- une division en horizons peu poussée, les structures étant peu caractéristiques, l'accumulation de matière organique faible, cela à cause de la jeunesse du profil où l'on observe encore des joints alluviaux.

C'est un sol à pseudogley de surface peu évolué conservant des traces (taches, carbonates, sels) d'engorgement par nappe; on pourra en rencontrer les variantes morphologiques suivantes :

- pas de pseudogley de surface nettement visible : le sol prend l'aspect d'un sol "brun" calcimorphe.
- ségrégations plus importantes en profondeur : concrétions ferrugineuses et manganésifères abondantes; le sol prend l'aspect d'un sol hydromorphe à taches et concrétions.
- structures de retrait (prismatiques, d'aspect "Solonetzique, cubiques) mieux marquées.
- accumulation de carbonates n'atteignant pas la surface, où se concentrent en amas vers la base du profil.
- présence d'amas sulfatés.
- horizon organique ancien enfoui.

Dans cet ensemble de profils peuvent exister des sols ou des horizons salés qui ne se distinguent pas avec certitude des autres, non salés;

L'indice positif de salure, le moins mauvais, semble être la présence de carbonate de calcium et magnésium : tous nos sols salés de ce type sont calcaires et 50% des sols calcaires sont salés; cette proportion est de 100% dans les relevés SOGETHA. Les efflorescences que nous avons pu observer (natron) étaient dues à l'irrigation sans drainage traditionnelle; les efflorescences punctiformes notées huit fois sur dix dans les coupes humides SOGETHA de solonchaks semblent être, selon le cas, soit des sulfates (gypse ?), soit, plus douteusement, du natron. Enfin un aspect très hydromorphe (taches abondantes) coïncide souvent avec l'absence de salure.

Le second type de sols salés est celui de certains vertisols, d'aspect identique à celui des vertisols non salés; on retrouvera leurs descriptions au paragraphe IIIB232.

Le rapport SOGETHA indique un troisième type, nommé "solonetz solidifié" (voir profil I2), sols à pseudogley de teinte noirâtre, sableux à sablo-argileux, à structure "poudreuse".

## 23-2 Propriétés analytiques

Pour des raisons d'homogénéité analytique nous n'utiliserons que nos analyses et, parmi celles que la SOGETHA a effectuées, uniquement les taux de matière organique, les pH, la conductivité et la granulométrie.

Un premier groupe de propriétés est commun à tous les sols de cet ensemble, qu'ils soient salés ou non :

- textures à sables très fins, à taux d'argile s'étalant de 2 à 62%, avec des fréquences très élevées des taux compris entre 5 et 15% (75% des échantillons) dans les niveaux non vertisoliques; ces derniers ne sont bien différenciés qu'au dessus de 45% d'argile et en renferment le plus souvent de 50 à 55%.

- capacité d'échange correspondantes de I à 25még, avec valeurs les plus fréquentes de 5 à 10 még, et 20 à 35 még pour les vertisols.

- taux de matière organique de 0,2 à 0,7% (C/N de 6 à 10) pour les vertisols, peu hydromorphes, 1,5 à 3% (C/N de 9 à 11) pour les vertisols de mare (SOGETHA). Les taux d'azote respectifs vont de 0,2 à 0,4‰, 0,2 à 0,6‰, et 1,0 à 1,7‰.

Les taux de phosphore sont irréguliers : 0,07 à 1‰, la plupart des sols étant carencés.

Un second groupe, pH, conductivité, rapport Na/T, permettent de distinguer les sols salés :

- les horizons salés des sols à profil hydromorphe ou brun carbonatés ont des pH compris entre 8,5 et 9,9 (SOGETHA 8,1 et 10,2), des conductivités allant de 100 à 1055 micromhos, (SOGETHA 230 à 1500), soit des taux de sels solubles de 80 à 850mg/100 g (SOGETHA 180 à 1200). Les rapports Na/T varient de 6 à 25%. Les taux de carbonates sont de l'ordre de 2%. Dans la plupart des profils les horizons les moins salés sont l'horizon supérieur et la base même du sol, particulièrement lorsqu'elle est formée de sables (ex : sables fins micacés de la partie amont de la vallée de la Komadougou).

- les horizons salés des vertisols ont des rapports Na/T pouvant atteindre 20%, des pH inférieurs à 8, des taux de sels inférieurs à 150mg/100g;

- les corrélations positives entre les pH, conductivités, rapport Na/T sont les mêmes dans les sols cités ci-dessus que dans les sols halomorphes du reste de la cuvette tchadienne : il s'agit encore d'une salure par des carbonates alcalins; mais deux profils SOGETHA classés respectivement comme "solontchak", "vertisols à alcali", ont des conductivités atteignant 3250 micromhos pour des pH inférieurs à 7,8; il en est de même d'une partie du profil classé comme "solonetz solodisé" (pH inférieur à 8,2, conductivité atteignant 3180 micromhos). Il s'agit d'une salure par des sels neutres, très probablement par des sulfates; un de nos échantillons se rapproche de cas, avec une conductivité de 1055 micromhos et un pH de 7,6 seulement (au lieu de 9,5); or la moitié des sels solubles sont formés de sulfate.

Tous ces sols ont une très faible perméabilité (le test de percolation est nul au laboratoire) et une très mauvaise stabilité structurale.

Ces données nous permettent de classer l'ensemble sols salés non vertisoliques comme sols hydromorphes, peu évolués, à gley et/OU pseudogley, calcaires à alcali. Le rapport SOGETHA les classe comme "solontchaks calcaïques et solontchaks" ce qui a pour inconvénient pratique de ne pas attirer l'attention sur la fixation du sodium sur le complexe absorbant, désastreuse dans ces types texturaux. Cette attitude a sans doute été dictée par l'absence de structures solonétziques nettes, et même de toute structure bien différenciée, dans la plupart des sols. Les vertisols salés sont des vertisols à alcali. L'examen des données analytiques du solonetz solodisé SOGETHA laisse un doute quant à sa diagnose : textures hétérogènes, répartition des conductivités et pH aberrantes. On peut sans inconvénient le considérer un comme sol hydromorphe (à alcali?) plus salé que la moyenne.

### 23-3 Répartition

Les sols hydromorphes peu évolués calcaires à alcali nous ont semblé, dans le Kadzél Est, être associés aux traces d'anciennes levées sableuses qui le parcourent. Ils sont nombreux en amont de la vallée Nigérienne de la Komadougou (SOGETHA) sur un ensemble surélevé de placages sableux a rejeté en bordure de vallée la zone d'inondation et de décantation maxima, à sols purement hydromorphes et vertisols. Cette disposition s'inverse en aval.

#### 23-4 Utilisation

Nous avons précédemment examiné celle des vertisols. Pour les sols hydromorphes calcaires à alcali on se reportera au rapport SOGETHA. Cependant nous estimons que la mise en valeur de ces sols est surtout limitée par leurs propriétés physiques dont le bas niveau n'a pas été provoqué, mais seulement aggravé par la salure. Cette difficulté vaincue (drainage, travail du sol) le maintien de la salure à un niveau acceptable nous semble possible.

#### 23-5 Cartographie

Ces sols figurent indifférenciés sous le nom de sols halomorphes dans l'association du Kadzel Est, dont les sols caractéristiques sont des Vertisols Hydromorphes, et dans celle de la vallée de la Komadougou dont les sols majeurs sont des sols à Pseudogley de Surface Peu Evolués.



LES SOLS HYDROMORPHES

---

## V.- LES SOLS HYDROMORPHES

### V-A- DEFINITIONS GENERALES - CLASSIFICATION

L'hydromorphie au sens large c'est le fait pour un sol ou un horizon d'évoluer dans des conditions d'humidité supérieures à la normale (engorgement). Cette humectation prononcée peut toucher tout le profil (engorgement total, ou d'ensemble), ou une partie qui en est soit le sommet (engorgement de surface) soit la base (engorgement de profondeur), de façon intermittente (pseudogley) ou au contraire constamment (gley) et cela sous l'action de nappes phréatiques à battement variable, de nappes perchées ou suspendues dans le profil par des changements de perméabilité, de lames d'eau superficielles. Très nombreux sont les sols où peut apparaître l'un de ces facteurs de l'hydromorphie; aussi on ne range dans la classe des Sols Hydromorphes que les profils où l'on ne reconnaît plus les horizons caractéristiques des profils tenus pour bien drainés, où apparaissent des traits spécifiquement hydromorphes, soit, en ce qui concerne notre étude, des niveaux à ségrégations (taches et/ou concrétions), à plages de fer "réduit (gley), et des horizons humifères particulièrement foncés ou épais. De plus les sols halo-morphes et les vertisols, généralement mal drainés, sont exclus de cette classe.

Les causes principales d'hydromorphie au Niger Oriental sont nombreuses et d'ordre variable :

- climatiques : la zone est endoréique, le réseau de drainage peu actif et les eaux finissent par se concentrer dans des mares temporaires (ex : Damergou)
- morphologique : la couverture sableuse a effacé ou tronçonné l'ancien réseau hydrographique (ex : Damagaram); son modelé à petites dépressions communicant mal a facilité le colmatage par des dépôts imperméables des creux ou sillons interdunaires et actuellement leur engorgement (ex : région de Malwa).
- structurales : le déversement dans la cuvette tchadienne de la nappe du continental intercalaire est à l'origine d'un engorgement par nappe très étendu (ex : région Gouchi-Gocholo).

pétrographiques : parmi les roches perméables figurent les argiles du Damergou, les grès du Continental Hamadien, et, par extension, les alluvions fluvio-lacustres du Kadzel et de la Komadougou.

pédologiques : l'imperméabilité du Continental Hamadien est renforcée par les restes d'une couverture ancienne de sols ferrugineux lessivés à horizon profond compact (ex : forêt classée de Takiéta).

La classification des sols hydromorphes les plus importants du Niger Oriental est la suivante :

SOLS A HYDROMORPHIE TOTALE

SOLS A HYDROMORPHIE TOTALE TEMPORAIRE

Sur Formation Sableuse de bordure du Lac Tchad

Sols à variation de salure suivant celle du lac Tchad :

leur étude a été faite au chapitre IVBI2

SOLS A HYDROMORPHIE PARTIELLE DE SURFACE

SOLS A PSEUDOGLEY DE SURFACE

Sols à Taches et Concrétions

Sols à Caractères Hérités de Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés : leur étude a été faite au chapitre IIB22.

Sols à Hydromorphie de Surface

Sur alluvions du Goulbi N'Kaba

Sur alluvions et colluvions diverses

Sols Hydromorphes peu évolués

Sur alluvions de la Komadougou

Sur alluvions fluvio lacustres du Kadzel (en association)

SOLS A HYDROMORPHIE PARTIELLE DE PROFONDEUR

1 SOLS A GLEY

Sols à Taches et Concrétions

Sur dépôts de colmatage d'ergs ou de massif sableux.

## SOLS A PSEUDOGLEY

Sols à Amas et Nodules Calcaires

Sur dépôts à diatomées

Sur dépôts sableux du Lac Tchad : leur étude a été faite au chapitre IVBI2.

Sols à taches et concrétions

Sur dépôts de colmatage d'ergs et sur formation sableuse fine du Manga (sols de fayas).

L'étude d'un certain nombre de ces unités a été faite à l'occasion de celle de sols ferrugineux lessivés et halomorphes auxquels ils étaient associés et dont ils procédaient.

## VB-ETUDE MONOGRAPHIQUE DES SOLS HYDROMORPHES

### VB-I SOLS A PSEUDOGLEY DE SURFACE, A TACHES ET CONCRETIONS.

Ce sont les sols qui ont tendance à se former sur toutes les surfaces où tendent à se concentrer les eaux de ruissellement ou de crue. Ils sont excessivement fréquents mais couvrent, la plupart du temps, de très faibles surfaces. En dehors des flats alluviaux et du Continental Hamadien ils ne constituent qu'un terme mineur des associations.

### BI-I LES SOLS A PSEUDOGLEY DE SURFACE SUR ALLUVIONS ET COLLUVIONS DIVERSES.

#### II-I Morphologie

Le profil NA 40 ZINDER est situé dans un thalweg colmaté drainant essentiellement des grès continentaux, immédiatement en amont d'un chapelet de mares où s'arrête l'écoulement temporaire. La végétation est un bois armé de Seyals riche en Bauhinia rufescens, espèces sahéliennes installées dans cette station méridionale à la faveur de sols compacts et mal drainés; vers l'aval, encore inondé, apparaît la formation habituelle des zones d'inondation prolongée à Myrtagyna inermis et graminées vivaces hydrophiles.

- 0 - 13cm 2,5 Y 7/0 gris clair; taches linéaires ocre vif autour de radicelles, de 1 à 2mm de large; enduits plus rougis sur de gros canaux (5mm); sablo-argileux, les sables sont très fins, avec quelques grains de 2 à 3mm arrondis; structure prismatique ( $\varnothing$  15cm), aplatie, à joints horizontaux plans saupoudrés de sables fins blancs; sous structure de ciment, instable; cohésion forte; porosité tubulaire verticale fine ( $\varnothing$  0,5mm) médiocre (8 pores au  $\text{cm}^2$ ).
- 13-25 cm 5 Y 6,5/2; gris clair (plus bleuté); taches diffuses brun ocre et mouchetures ou manchons plus ocrés autour des radicelles (0,5 à 1cm); des trainées gris clair anastomosées; même texture; structure massive à tendance polyédrique; cohésion plus forte; porosité tubulaire réduite.
- 25-50cm gris clair à trainées irrégulières diffuses brun ocre (1cm); même texture; riche en sables éolisés et graviers de 2 à 3mm; structure massive, débit polyédrique; cohésion forte; dur; porosité tubulaire fine non orientée moyennement développée; porosité d'assemblage lâche moyennement développée.
- 50-75cm 5 YR 4/8; gris clair à très nombreuses taches rouges de 1 à 2cm, irrégulières; très argileux; sables de même nature que ci-dessus; structure massive; débit anguleux à polyédrique; cohésion moins forte; colmaté.
- 75-100cm 7,5 YR 5/8; gris clair à taches moins rouges; argileux; très riche en saupoudrage de sables fins illuviaux; structure polyédrique (2cm) à faces rugueuses, cohésion très forte;  
Quelques taches noires.
- 100-135cm Se distingue du précédent par la présence de ségrégations noires très irrégulières, à cerne brun foncé, à cohésion très forte (concrétions tendres : 2cm)
- 135-195cm 7,5 YR 6/8; gris clair à taches irrégulières ocrées (2 à 3 cm); argileux, plus riche en sables grossiers; structure polyédrique en assemblage compact; cohésion très forte; colmaté.

Sur ce profil, des plus typiques, on remarquera :

- la succession de niveaux à ségrégations de deux types : le premier est attribué à l'engorgement de surface et formé de taches ferrugineuses linéaires centrées autour des pores forés par les racines (zone de concentration et d'oxydation) dans la masse décolorée (zone de réduction), le second caractérise un niveau d'engorgement par nappe en milieu peu poreux. Il consiste en taches et concrétions ferrugineuse ou manganésifères formées par imprégnations de petits aggrégats réunis en amas irréguliers rouges dans la frange capillaire, rouges et noires, durcies, au toit, jaunes (ocres) dans la nappe, la masse du solum restant peu colorée. Cette nappe n'existait plus actuellement à ce niveau lors du prélèvement.

- la nature alluviale évidente du profil, formée de bancs à granulométrie homogène variant du très argileux au sablo-argileux.

- l'absence de structure bien différenciées : léger retrait en surface, quelques surfaces polyédriques en profondeur, accompagnant une faible porosité et une forte cohésion de l'ensemble du profil; cela est commun dans les sols hydromorphes à argiles à basse capacité d'échange (ici 23 méq/100g) des bassins à sols ferrugineux tropicaux lessivés, ici représentés par la couverture pédologique des grés continentaux.

- des traces d'apport actuel parnuissellement (sables) incorporés à la masse par le jeu des fissures.

Les profils de ce type sont rares, les dépôts alluviaux étant peu fréquents; plus fréquemment on observe des coupes telles que NA 30 BRIGI-MAINA, sol de mare très temporaire, peuplée de Seyals, Jujubiers, Mytragyna inermis et établie dans un couloir interdunaire découvrant le continental hamadien :

- |           |  |
|-----------|--|
| 0 - 20cm  | gris beige clair; nombreuses taches linéaires ocres texture sableuse; sables fins et graviers émoussés; structure massive, débit polyédrique; cohésion moyenne, porosité tubulaire fine assez développée.  |
| 20 - 45cm | gris brun à taches diffuses ocrées de 2-3cm; argileux, riche en graviers de 2-3mm; structure prismatique à cubique à faces horizontales lisses parfois luisantes et striées; le plus souvent rugueuses; taille 5-10cm; cohésion excessive; compact; quelques pores de 0,5mm. |

- 45-94cm gris noir, taches ocre rouille diffuses; argileux, riche en graviers; structure polyédrique fine de moins de 1cm en assemblage compact; cohésion excessive; aggrégats compacts.
- 94-105cm gris noir à fines taches ocre rares: argileux, riche en nodules calcaires de 1cm très irréguliers à cassure blanche, grain fin, mouchetures noires,; dur et compact.
- 105-115cm gris foncé à taches ocres et noires plus nombreuses argileux; calcaire à répartition plus diffuse en petits grains et mycélium.

Le matériau est ici, un mélange d'argiles de décantation et de produits de ruissellement (colluvions) disposé en bancs peu distincts et hétérogènes. Le profil ne peut s'interpréter dans le détail, c'est un empilement de niveaux mal drainés (teinte foncée), à ségrégations de type pseudogley de surface peu accusées, présentant de faibles variations de teinte et de netteté d'un horizon à l'autre : l'engorgement est de brève durée et se manifeste surtout lors du dépôt même du niveau intéressé. Les carbonates sont communs dans les points bas des versants sur Continental Hamadien (voir IIB22). Le profil reste dur, compact, en dépit d'un léger développement structural dû à une argile à capacité d'échange plus forte que précédemment (61 méq/100g). On retrouve également cet aspect général de "terre à banco" sur des placages issus de roches métamorphiques et granites dans le Mounio, le Damagaram.

## II-2 Propriétés analytiques

Les textures sont éminemment variables dans chaque profil et d'un profil à l'autre. Le taux maximum d'argile est celui qui provoque l'apparition des vertisols (Damagaram) compte tenu de sa capacité d'échange, soit 25 à 35%. Il n'y a pas de taux minimum concevable mais en fait les plus faibles valeurs sont de l'ordre de 14%. Il y a peu de limons (moins de 5%) et les sables grossiers (plus de 0,2mm) forment la moitié environ des sables totaux. Les rapports fer libre sur fer total sont de 65-70%.

Les taux de matière organique sont élevés par rapport à ceux des sols bien drainés voisins, de l'ordre de 1% en surface; ils sont également désaturés (vers 50%) et acides (pH vers 5,5). Les réserves en bases et phosphore sont bonnes.

### II-3 Utilisation

Ce sont des sols incultes car la submersion n'y est pas contrôlée. Les sols type NA 40 ZINDER (sur alluvions) donneraient d'excellentes rizières, mais ils ne couvrent que quelques hectares. Les sols type NA 80 BRIGI MAINA (sur colluvions) ne nous semblent convenir qu'au sorgho de décrue.

### II-4 Localisation et Cartographie

Nous n'avons observé de sols sur alluvions que dans les restes du réseau hydrographique drainant l'Ouest de Zinder vers Droum. Ils n'ont pu être dessinés ni mentionnés dans la légende. Les sols sur colluvions des petites mares parsemant le Continental Hamadien n'ont pas été séparés des sols hydromorphes de bas de pente à caractères ferrugineux lessivé hérité dans toutes les unités et associations où ces derniers figurent. On peut en rencontrer sur toute autre roche-mère, toujours reconnaissables à leur horizon supérieur taché, mais ils n'ont été expressément mentionnés que dans l'association à Sols Ferrugineux Peu Lessivés du Damagaram. Les sols à pseudogley sur alluvions du Goulbi N'Kaba, vallée étroite parsemée de puisards, n'ont d'autre intérêt que de signaler un ancien axe de drainage.

### BI-2 LES SOLS A PSEUDOGLEY DE SURFACE PEU EVOLUES SUR ALLUVIONS DE LA KOMADOU-GOU ET SUR ALLUVIONS FLUVIO LACUSTRES DU KADZEL.

Pour la description morphologique de ces sols on se reportera au chapitre IVB23, car il ne se distingue qu'au point de vue analytique, et encore partiellement, des sols hydromorphes à alcali de la même région. Ils sont moins fréquemment carbonatés que les sols salés.

Leurs propriétés spécifiques analytiques sont les suivantes :

pH compris entre 6,4 et 7,6 en surface (le plus souvent 6,6), conductivités correspondantes de 30 à 110 micromhos (25 à 90 mg/100g de sel, aucun horizon à pH supérieur à 8 et à conductivité supérieure à 230 micromhos, rapport Na/T inférieur à 10% et le plus souvent à 5% dans tous les horizons.

Pour les taux de matière organique, la granulométrie, on se reportera au paragraphe IVB232.



Dans le cas d'un aménagement sommaire de la vallée de la Komadougou se bornant à une meilleure utilisation de la crue, sans améliorations foncières (drainage, dessalage), ces sols fourniraient l'essentiel des terres cultivables; leur principal défaut reste leur faible perméabilité associée à une mauvaise stabilité structurale : le test de perméabilité donne de 0,5 à 2,5 cm/h, ce qui, dans le meilleur cas, convient tout juste à l'irrigation; mais enfin elle n'est jamais nulle comme dans certains sols à alcalis. La culture du coton dans ces conditions est déconseillée; celle des céréales (riz, blé dur, orge) paraît plus indiquée.

## VB-2 LES SOLS A HYDROMORPHIE PARTIELLE DE PROFONDEUR

L'engorgement par une nappe de la base des profils est moins fréquent que le pseudogley de surface. Les sols cartographiés dans cette sous classe sont tous situés dans la cuvette tchadienne et le bassin de la Korama.

## B2-I LES SOLS A GLEY, A TACHES ET CONCRETIONS, SUR DEPOTS DE COLMATAGE D'ERGS OU DE MASSIFS SABLEUX.

### 2I-I Morphologie :

Dans les points bas des cuvettes où la nappe est proche de la surface on peut observer des horizons profonds à gley sous les sols à natron (cf IVBIII Na 76 MAGARIA), les sols à efflorescences, les sols à alcali calcaires (cf NB 24 BOUNE). Le gley se manifeste ici par son aspect classique de zone bleutées verdissant à l'air (oxydation de sels ferreux). Nous n'en avons pas observé sous un horizon humifère absolument dépourvu d'efflorescences, mais cette éventualité est infiniment probable, de nombreuses mares ne présentant pas de ceinture de sols salés lorsqu'elle sont réalimentées en eau très douce par infiltration d'eau pluviale dans la couverture sableuse. De plus seuls les sols à natron (horizon supérieur jaune) sont morphologiquement des sols salés; en particulier les sols à efflorescences auraient pu être également classés comme sols à gley.

Il existe un deuxième type de profil, beaucoup plus fréquent que le précédent, dont NA 3I DOGO donne un premier aspect; il est situé au Nord du Bassin de la Korama, au fond d'une dépression interdunaires dans un erg à sols fer-

rugineux peu lessivés, peu évolués, parsemés de palmiers doums, d'annonnes, couverte d'un tapis d'Aristida longiflora :

- 0 - 10 cm brun gris, sables déliés sur dépôts sableux récent parcouru de canaux d'insectes.
- 10 - 30cm brun, avec des remplissages de sables clairs; sables fins éoliens, massif, des fissures fines tous les 30 à 70cm jusqu'à 60cm; débit à faces planes; cohésion : très faible, presque particulaire; porosité intergranulaire assez bonne; fin chevelu dense.
- 30 - 50 cm passe progressivement de brun clair à blanc; même texture et structure; quelques remplissages humifères; pas de ségrégations.
- 50-190cm sables blancs à grains colorés roses; même texture et structure; des remplissages de terriers (15cm Ø) bruns et humides; pas de ségrégations.
- 240cm Nappe.

Sur une masse sableuse homogène, il n'est formé que d'un horizon humifère à base diffuse reposant sur un horizon complètement décoloré. C'est morphologiquement un profil "brun à drainage réduit" (voir IB42). Très souvent, on observe des ségrégations jaune ocre à rouge à la base du profil dans la zone blanche; <sup>l'horizon</sup> humifère peut être gris et non brun (chaines à sols ferrugineux peu lessivés. Enfin dans la région située entre Bandé et Magaria nous avons considéré comme d'anciens sols à gley les profils définis par NA 3 MAGARIA, occupant des fonds interdunaires, de couleur très noire, actuellement abandonnés par la nappe, parfois même attaqués par érosion régressive :

Couche de 5 à 10 cm, de sables brun clair, déliés.  
Surface lissée.

- 0 - 31cm Gris noir; (H 10); Humifère; Formé par une succession de lignes et de tranches plus ou moins foncées; Sableux; Structure prismatique (20cm), sous structure massive à débit cubique; Cohésion moyenne à faible : Dur; Capacité avec quelques gros canaux.

Variations observées; Epaisseur de 20 à 40cm; Peut présenter des raies noires; Peut être plus argileux et cohérent.

3I à IOO Blanc crème; (B 6I); avec de très nombreuses raies horizontales larges et espacées d'un millimètre, alternativement claires et sombres; Quelques lignes plus épaisses, discontinues obliques (Racines et fissures); Des ponctuations de diverses tailles très foncées; Ces accumulations humifères apparaissent de plus en plus claires vers la base du profil, où se manifestent des taches et des auréoles ocre-jaune non durcies; Sableux; Structure massive, également fissurée; Cohésion beaucoup plus faible et porosité analogue au précédent.

Le type de développement de profil est le même, mais il est très foncé et l'horizon humifère se prolonge en profondeur par des raies d'accumulation organique.

La présence d'une nappe à la base d'un profil sableux se traduit donc :

- par un horizon humifère gris ou brun homogène à base diffuse
- par un niveau de sables décolorés avec ou sans ségrégations ferrugineuses, taches de fer réduit, raies humifères.

Dans les chaînes ils passent vers les points hauts à des sols ferrugineux ou brun rouge en présentant des faciès intermédiaires de sols bruns dont l'extension est d'autant plus grande que la nappe est plus profonde, la pluviométrie plus faible, l'âge des séries plus récent.

### 2I-2 Propriétés analytiques

Elles sont intermédiaires entre celles des sols halomorphes et des sols bruns à drainage réduit. Les textures sont celles de la couverture sableuse correspondante, avec parfois un léger enrichissement en argile dont le taux, dans nos prélèvements, n'a pas dépassé 9%. Au-delà les niveaux plus argileux de bas fond sont le plus souvent salés. Généralement la somme argile plus limon est de 3 à 5%, avec, parfois, un minimum dans l'horizon décoloré (1%). Les taux de sesquioxides variant parallèlement, mais le minimum de l'horizon inférieur blanc est plus régulièrement mesuré : 0,5 à 0,6 pour mille de fer libre contre 1,5 - 4,5 en surface. Le profil est tantôt désaturé (minimum 40%), tantôt pas, le second cas semblant correspondre à une nappe plus profonde ou retirée du profil. Le pH varie en surface de 6,3 à 7,1. La conductivité se maintient entre 20 et

100 micromhos, et le rapport Na/T entre 3 et 10%, en surface.

La somme des bases échangeables est comprise entre 1,5 et 4 méq/100g

La fertilité chimique est basse à moyenne, avec des taux de phosphore relativement meilleurs que ceux d'azote (0,2 - 0,4%), contre 0,2-0,3%).

### 2I-3 Utilisation

Ces sols de nappe sableux non salés sont à rechercher dans le bassin de les Korama pour les cultures maraichères et celle de la canne de bouche. Leur fumure organique est indispensable. Au Manga, ils concentrent les cultures et portent les champs d'arachide les plus septentrionaux.

### 2I-4 Répartition et Cartographie

Le type très foncé à raies n'a été observé que dans l'association à Sols Ferrugineux Peu lessivés à action de nappe en profondeur sur formation sableuse de Malwa. Les autres peuvent être rencontrés du Manga au bassin de la Korama en association avec des sols peu évolués brun rouge ou ferrugineux et des sols halomorphes, ou bien avec des sols halomorphes seulement (région des dépressions au Sud de Kilakina).

### B2-2 LES SOLS A PSEUDOGLEY DE PROFONDEUR A TACHES ET CONCRETIONS SUR DEPOTS DE COLMATAGE D'ERGS et FORMATION SABLEUSE FINE DU MANGA (Sols de Faya)

Nous étudions ici des sols très voisins morphologiquement des précédents mais d'où, sur une très grande étendue la nappe a disparu. Ils occupent la plus grande partie des cuvettes (fayas) parsemant 40% de plaines sableuses du Tchidi N'Gourbaybe et du Tiolde. Ils passent latéralement aux sols brun rouge peu évolués par l'intermédiaire de profils bruns (voir IB43). Ils forment une sorte de terrasse dominant de quelques mètres les dépressions colmatées soit à des dépôts salés et carbonatés évoqués au chapitre IVB21, soit à des sols à caractères hydromorphes de même nature mais plus accusés. La "terrasse" porte une savane lâchement arborée à épineux : Acacia Raddiana, Faidherbia albida, et très souvent des gommiers (A.Senegal). Plus bas les palmiers doums peuvent apparaître. Un aspect moyen des sols de la terrasse est celui de NB 48 GOUDOU-MARIA :

- 0 - 5 cm IOYR 6/2; gris clair; sableux; structure massive; débit feuilleté; cohésion moyenne; non aggrégé;
- 5 - 90cm gris brun clair, teinte s'éclaircissant vers la base; également finement sableux; structure massive, débit non orienté; porosité très fine, tubulaire; des racelles verticales réparties de façon homogène;
- 90 -220cm IOYR 8/2; gris blanc; finement sableux; massif.

Il se résume à un horizon humifère gris à base diffuse reposant sur des sables décolorés; l'évolution en est faible. Ces sols peuvent être carbonatés, l'horizon décoloré renfermer quelques ségrégations. Dans les points bas l'aspect général reste le même si la texture reste franchement sableuse; dans le cas contraire apparaissent des sols noirs très épais (jusqu'à trois mètres), représentant probablement d'anciens sols de marécage (à hydromorphie totale), comme le NB 45 KILAKINA.

- 0 - 15cm gris brun foncé; sableux à sablo-argileux; horizon tassé par les façons culturales (culture de mil sur billons) massif, à cohésion moyenne; porosité médiocre.
- 15 - 50cm IOYR 3,5/I; brun noir; sablo-argileux; structure massive débit polyédrique de I-2cm; cohésion moyenne; aggrégé; porosité moyenne de type tubulaire (0,5mm) et d'assemblage de grains.
- 50 - 350cm IOYR 3,0/I; grès noir, argilo-sableux; structure polyédrique en assemblage compact; cohésion moyenne, à forte, porosité tubulaire médiocre, quelques canaux remplis de sables blancs.

Les sols gris de la "terrasse" sont sableux (taux argile + limon de 5 à 6%), faiblement humifères (0,3 à 0,5% de matière organique à C/N de 8 à 10), modérément acides ou modérément alcalins (pH en surface de 6,7 à 7,5), le plus souvent saturés; la somme des bases échangeables est comprise entre 3 et 5 méq/100 g; la conductivité est faible (10 à 50 micromhos dans tout le profil, ainsi que le rapport Na/T : 2 à 4 %. La fertilité chimique est basse, avec des taux d'azote de 0,2 à 0,3% et de phosphore de moins de 0,1%. Les sols noirs des dépressions sont plus riches en matière organique (1%) moins bien décomposée (C/N de 16), en argile et limon (15%) en bases (10 méq), et leur pH est plus bas (6,2)

Les sols gris sont les principales terres à mil pénicillaire du Tchidi N'Gourbaybe et du Tiolde et, vers le Nord de la carte, les seules, tant à cause de leur richesse organique et minérale plus élevée que celle des sols brun rouge peu évolués voisins que de leur situation topographique favorisant l'accumulation de l'eau et limitant l'érosion pluviale et éolienne. On y observe également, vers le Sud, quelques champs d'arachide. Les sols noirs, moins perméables doivent être billonnés.

Ils figurent dans l'association à sols brun rouge peu évolués couvrant le Tchidi N'Gourbaybe.

### B2-3 LES SOLS A PSEUDOGLEY A AMAS ET NODULES CALCAIRES SUR DEPOTS A DIATOMEES

Les dépressions de la terrasse de Sayam montrent des dépôts à diatomées de plus en plus étendus vers le Nord-Ouest; dans la région de N'Guigmi ils affleurent en abondance et passent sous le cordon littoral du lac Tchad au Nord de cette ville. Leur unique intérêt est d'avoir fourni les matériaux qui édifièrent l'antique Garoumélé et le démontrer la possibilité d'accumulation de calcaire, dont ils sont normalement dépourvus, dans les sols par évaporation d'une nappe : Un profil très démonstratif à cet égard est le NB 67 KABELAWA :

Surface à bourrelets et rides sableuses, enrichies en éléments fins et en carbonates, séparées par des zones de déflation.

- 0 - 28cm brun jaunâtre foncé; de plus en plus jaune vers la base; finement sablo-limoneux; structure meuble grumeleuse à finement grenue de 2 à 5mm; porosité tubulaire fine; très effervescent (3,8 de carbonate Ca et Mg); chevelu racinaire très dense et bien réparti.
- 28 - 57cm passage brusque à un niveau de diatomite grise (5 YR 8/I) en plaquettes; perforé de canaux de 3-4mm à remplissages bruns (horizon supérieur) calcaires; nombreux pores tubulaires le plus souvent imprimés sur les faces horizontales des plaquettes; dépôts calcaires (3,2%) en enduits blanchâtres sur ces mêmes faces, très abondant à la base du dépôt.
- 57 - 85cm Diatomite humide plus brune parcourue de lits de teintes variées : n'est calcaire que dans les remplissages de canaux; les enduits de pores ou les interfaces des feuilletts.

85.... lits beaucoup plus fins et nombreux de l'ordre du cm, certains ocre brun, avec des poches kaki, plus calcaires (2,5 Y 5/4 à 6/6 à 5,5/3); plus fins vers la base(mm).

On remarquera la concentration du carbonate dans les pores et interstices des feuillets de la diatomite et non dans la masse elle-même, c'est-à-dire sur les surfaces d'évaporation (la masse étant elle-même trop finement poreuse). L'action du calcaire sur la finesse de la structure est notable dans le premier horizon. Les poches kaki de la base sont formées des limons sulfurés et alcalisés, qui, dans les coupes situées près de N'Guimi, forment des bancs épais de plusieurs mètres.

O. R. S. I. O. M.

*Direction générale :*

24, Rue Bayard, PARIS 8<sup>e</sup>

*Service Central de Documentation :*

80, Route d'Aulnay, BONDY (Seine)

*Centre de Recherches Pédologiques de HANN*

B. P. 1386 DAKAR