CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES TERTIAIRES ET QUATERNAIRES DE LA CUVETTE TCHADIENNE ET DES SOLS QUI EN DÉRIVENT

(RÉPUBLIQUE DU TCHAD)

1968 J. PIAS

CONTRIBUTION A L'ETUDE

DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES TERTIAIRES ET QUATERNAIRES

DE LA CUVETTE TCHADIENNE ET DES SOLS QUI EN DERIVENT

(REPUBLIQUE DU TCHAD)

S O M M A I R E

AVANT - PROPOS

I LE MILIEU NATUREL

1 Situation géographique 3
2 Le climat 6
3 La végétation 14
4 L'hydrographie 16
5 Les nappes 25

II LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

1 Introduction 34
2 Stratigraphie tchadienne 36
3 Roches et formations sédimentaires (grès paléozoïques - formations continentales terminales - formations quaternaires fluviatiles, fluvio-lacustres et lacustres - cordons sableux) 42
4 Conclusions sur les formations sédimentaires 99

III LES SOLS DERIVES DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

1 Les sols des formations continentales terminales 108
2 Les sols des formations anciennes remaniées 128
3 Les sols de la série sableuse récente 150
4 Les sols de la série alluviale subactuelle à actuelle 165
5 Les sols de la série fluvio-lacustre des regs 173
6 Les sols de la série fluvio-lacustre argilo-sableuse à nodules calcaires 180
7 Les sols formés sur la série lacustre récente 188
8 Les sols formés sur la série lacustre actuelle 213

IV LES PROCESSUS DE PEDOGENESE

1 La ferrallitisation 222
2 La ferruginisation 234
3 L'hydromorphie 242
4 La vertisolisation 245
5 La steppisation 250
6 L'halomorphie 254
7 La carbonatation 268

V HISTOIRE GEOLOGIQUE - ESSAIS DE CHRONOLOGIE ET DE CORRELATION - CYCLE SEDIMENTAIRE ET PEDOGENESE - ESSAIS DE DATATIONS

1 Histoire géologique 274
2 Essais de chronologie et de corrélations à l'intérieur de la cuvette tchadienne (Niger-Nigéria-Cameroun) et avec divers autres territoires : Vallée Moyenne du Niger - Sénégal - Mauritanie - Sahara nord-occidental - Afrique du Nord 290

3 Cycle sédimentaire et pédogenèse en relation avec l'alternance de phases pluviale et aride 305
4 Les pédogenèses successives 308
5 Essai de datation des pédogenèses et des sols 316
6 Industries préhistoriques et peuplement de la cuvette tchadienne 319

CONCLUSIONS 321

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 325

ANNEXES 381

AVANT - PROPOS

Les travaux qui font l'objet de cet ouvrage sont le résultat d'études effectuées à partir de 1949 sous l'égide de la Commission Scientifique du Logone et du Tchad que présidèrent successivement le Général TILHO, Monsieur le Professeur COMBES, membres de l'Institut, aujourd'hui tous deux disparus, et dont le Général BEAUFRERE fut le secrétaire général. Ces études furent reprises ensuite en 1959 par l'O.R.S.T.O.M. à son siège de Fort-Lamy.

Je me permets d'exprimer tout d'abord ma gratitude à ces différentes personnalités et à M. GLANGEAUD, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de Paris pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider mon jury. Je remercie vivement M. LUCAS, professeur à la Faculté des Sciences de Paris pour l'accueil bienveillant qu'il m'a réservé à chacune de mes visites et pour les encouragements qu'il n'a prodigués dans mes recherches. Je remercie également M. SCHNELL, professeur à la Faculté des Sciences de Paris d'avoir bien voulu accepter de faire partie de mon jury.

Je témoigne une particulière reconnaissance à M. G. AUBERT, Directeur du Service des Sols de l'O.R.S.T.O.M. pour l'enseignement donné lors de mes années d'élève. Je le remercie aussi d'avoir su, par la suite, continuer à me prodiguer son temps, ses conseils et m'inculquer sa foi et son enthousiasme. Je le remercie également d'avoir bien voulu revoir en détail le manuscrit de cet ouvrage, ainsi que M. SEGALEN avec lequel j'ai eu de fructueuses discussions.

Je rends également hommage à mes anciens maîtres : MM. R. CHAMINADE, H. ERHART, S. HENIN, qui ont contribué à ma formation lorsque j'étais élève à l'O.R.S.T.O.M.

J'exprime ma vive gratitude à M. le Professeur CAMUS, Directeur Général de l'O.R.S.T.O.M. ainsi qu'à MM. SEVERAC et GLEIZES, secrétaires généraux, pour m'avoir permis en demeurant en France de préparer ce travail.

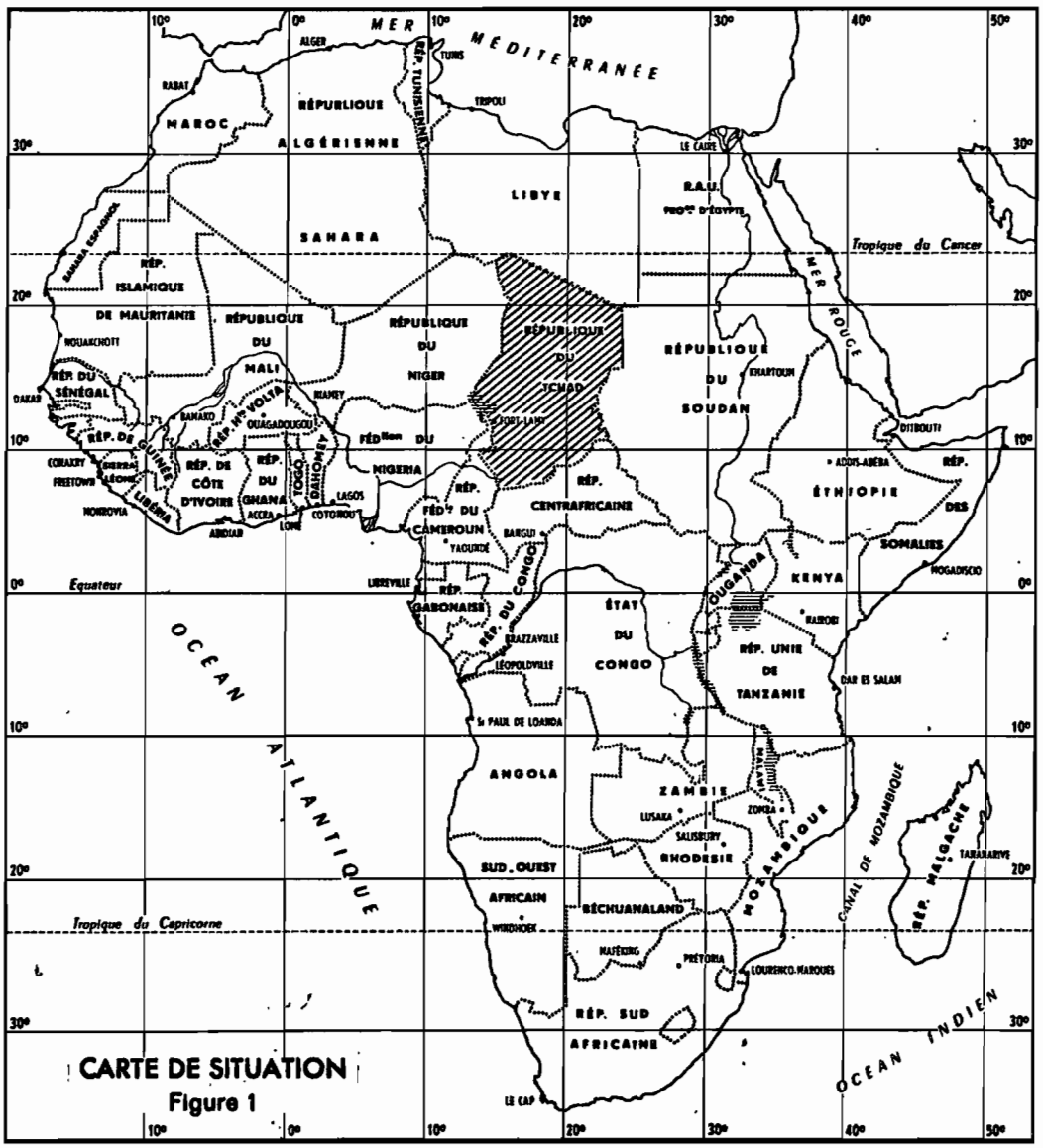
Je suis particulièrement reconnaissant à MM. COMBEAU, DABIN, DEFOSSEZ, PINTA, respectivement chefs de service de la physique et chimie des sols, de la géologie et de la spectrographie aux Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy. Je remercie tout spécialement leurs collaborateurs directs Mme DELAUNE, Mlle FUSIL, MM. BRION, KOUKOUI, PARROT, PELLOUX, VERDONI, ainsi que les différents techniciennes et techniciens qui ont participé aux analyses physiques et chimiques.

Je dois une reconnaissance toute spéciale à M. A. COMBROUX et à ses collaborateurs des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. pour l'élaboration des cartes et des figures illustrant cet ouvrage ainsi qu'à Melle DARDENNE, qui a contribué à la publication, et à Mme BLANC qui a assuré la dactylographie du texte. Je remercie également Melle PERROT et Mme BROSSEL qui m'ont aidé dans certaines recherches bibliographiques.

Je remercie ici aussi tous mes anciens amis ou camarades de terrain avec lesquels j'ai eu à travailler lorsque je me trouvais en Afrique et, tout particulièrement MM. BACHELIER, BARBERY, BOUTEYRE, COMBEAU, GUICHARD, LAPLANTE, LENEUF, LEPOUTRE, MARIUS, POISOT, pédologues ; MM. BILLON, BOUCHARDEAU, LEFEVRE, RANC, RIMBERT, SABATIER, TIXIER, hydrologues et leur chef de file M. RODIER ; M. GILLET botaniste.

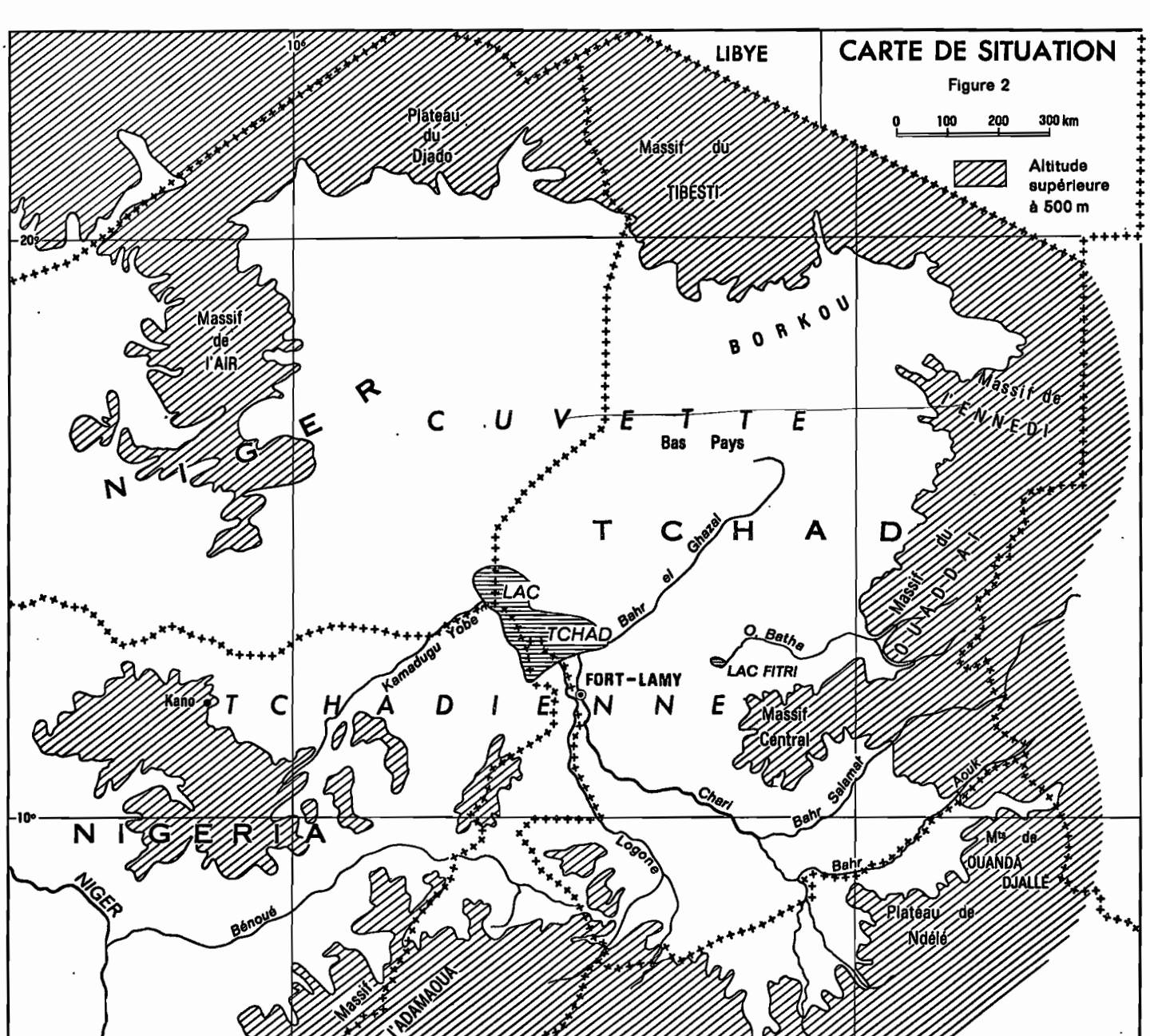
Enfin, je me garderai d'oublier toute l'aide que m'ont apporté les nombreux collaborateurs tchadiens et européens notamment ceux du laboratoire de pédologie du Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy que dirigeait M. CHANUT, ni du concours que j'ai pu trouver au cours de mes tournées en brousse auprès des administrateurs français, tout d'abord, puis de leurs successeurs : Préfets, Sous-Préfets, Agents Spéciaux tchadiens que je remercie vivement ici.

I - LE MILIEU NATUREL



CARTE DE SITUATION

Figure 1


CARTE DE SITUATION
Figure 2
0 100 200 300 km
Altitude supérieure à 500 m
LIBYE
Plateau du Djado
Massif du TIBESTI
Massif de l'AIR
BORKOU
NIGER
CUVETTE
Bas Pays
Massif de l'ENNEDI
TCHAD
Massif du OUADDAI
LAC TCHAD
Bahr el Ghazal
O. Batha
LAC FITRI
Kamadugu Yobe
FORT-LAMY
Kano
TCHADIENNE
Massif Central
Aouk
Chari
Bahr Salamat
NIGERIA
Logone
Bahr
Mts de OUANDA DJALLE
Plateau de Ndélé
NIGER
Bénoué
Massif de l'ADAMAOUA
CAMEROUN
CENTRAFRIQUE
Bangui
OCEAN ATLANTIQUE
Douala
10°
20°

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La République du Tchad, qui couvre 1 250 000 km2, est située au coeur de l'Afrique entre le 8° et le 23° de latitude Nord et entre le 14° et le 24° de longitude Est.

Elle est limitée : au Nord par le Royaume de Libye;
- à l'Est par la République du Soudan;
- au Sud par la République Centrafricaine;
- à l'Ouest par les Républiques du Cameroun et du Niger et par le Nigéria.

C'est une vaste cuvette qui se relève de 160 m et 282 m (altitude des bas-pays et du Lac Tchad) pour atteindre 1 190 m dans les premiers contreforts de l'Adamaoua au Sud, 1 700 m à l'Est au Tama dans le massif du Ouaddaï, 1 300 m au Nord-Est dans le massif de l'Ennedi, 3 415 m dans le massif volcanique du Tibesti.

Vers l'Ouest, cette cuvette se poursuit au Cameroun, en Nigéria, au Niger.

Ce territoire se subdivise en unités naturelles plus ou moins tranchées :

- la région septentrionale désertique ou subdésertique (nord du 13° de latitude), domaine de grands ergs ou de plateaux et massifs dénudés, mais aussi de palmeraies verdoyantes au milieu des massifs gréseux de l'Ennedi et volcanique du Tibesti;

-la région au sud du 13° de latitude plus complexe (régime tropical sec, de plus en plus humide vers le Sud), plus riche qui se décompose en bassins alluviaux ou en massifs d'altitude faible à moyenne :

. Bassin alluvial et lacustre du Logone-Chari et Lac Tchad

. Bassin alluvial des bahrs Salamat, Keïta, Aouk

. Bassin alluvial et lacustre du Batha, Lac Fitri

. Massif central tchadien (Monts de Guéra, de l'Abou Telfan, de Mongo, etc ...)

. Massif du Ouaddaï.

1.1. LE MODELE

Divers types de modelés se distinguent du Sud vers le Nord.

1.1.1. Le modelé de la zone soudano-guinéenne.

Dans la partie sud du territoire du Tchad, les fleuves entaillent profondément leurs cours dans les formations sédimentaires anciennes et le paysage se présente sous la forme de plateaux très étendus alternant avec de larges vallées encaissées de 40 à 60 m (vallées des Logone oriental et occidental, de la Tandjilé, de l'Ouham, du Chari,...). Des formations de grès couronnées de cuirasses ferrugineuses constituent, sur les plateaux de l'arrière-pays au voisinage des massifs granitiques, des buttes témoins résiduelles au milieu de la surface actuelle.

1.1.2. Le modelé subhorizontal.

C'est celui des vastes bassins alluviaux du Logone et Chari et des bahrs Salamat, Keïta, Aouk,... Le relief est relativement plat et seules émergent des plaines inondables argileuses, des buttes sableuses qui sont isolées ou constituent des ensembles ou des alignements orientés qui surplombent la plaine de quelques mètres (buttes alignées : Sud-Nord de la dépression du Logone entre Laï et Bongor; Nord-Est Sud-Ouest de la dépression des bahrs Salamat, Aouk,...). Les fleuves ont de faibles pentes et se ramifient souvent en un système complexe de défluents. Ils présentent des bourrelets de berges en élévation de 2 à 3 m par rapport à la plaine inondable et vont se jeter dans des lacs (Lac Tchad, Lac Fitri,...), vestiges d'étendues lacustres plus importantes. Surgissent, çà et là dans ce modelé subhorizontal, des inselberge granitiques pouvant atteindre une centaine de mètres de hauteur (pitons de Moïto, d'Hadjer el Hamis, de Djaya, de Bolong,...). Ces inselberge ont des glacis de faible étendue ou bien sont complètement ennoyés dans les alluvions. De vastes surfaces de ce paysage sont inondées plusieurs mois de l'année, en saison des pluies.

1.1.3. Le modelé dunaire.

Il prend une grande extension au nord du 13ème parallèle correspondant sensiblement à l'isohyète 500 mm. Il s'agit, dans la partie la plus méridionale, d'ergs fossiles aujourd'hui fixés par une pseudo-steppe ou même

par la savane arbustive. Le relief est constitué d'une succession d'ondulations orientées NW-SE ou NS. Celles-ci, larges de plusieurs kilomètres, présentent une amplitude assez grande atteignant 20 à 30 m de haut.

Au-delà du 16° de latitude Nord, vers l'isohyète 200 mm, s'observe le domaine des formations dunaires actuelles. Elles sont en perpétuels remaniements et se présentent soit en ergs importants (erg du Djourab) soit en dunes isolées en forme de croissant (barkhanes) qui se déplacent sur un substratum essentiellement constitué par des diatomites.

Il existe, au sud du 13ème parallèle, des ensembles sableux mamelonnés qui sont la manifestation de remaniements éoliens anciens. Ils n'occupent plus de vastes surfaces et semblent en voie de démantèlement. Les plus caractéristiques s'observent :

- dans la région de Kalfou-Yagoua au Cameroun, où ils présentent une orientation NE SW;
- au nord de Massénya et à l'ouest de Bokoro au Tchad, avec une orientation NS .

1.1.4. L e m o d e l é d e s m a s s i f s (massif du Ouaddaï, massif central tchadien, massifs Borkou - Ennedi - Tibesti).

Celui-ci affecte différents aspects en fonction de la nature et de l'âge des roches.

- Les granites se présentent :
  - . en massifs bien découpés qui jaillissent dans un paysage accidenté;
  - . en une multitude de boules provenant de la dégradation ou destruction des massifs. Le relief est plus mou et beaucoup moins accusé que le précédent. Les sols arénacés sont alors plus profonds, moins érodés et remplacent les sols squelettiques du paysage précédent.

Ce sont généralement les granites jeunes qui constituent les parties hautes du relief au-dessus des roches plus anciennes ou des alluvions. Les massifs sont ceinturés par une auréole de produits détritiques en glacis, séparés entre eux par les cuvettes ou dépressions remplies d'alluvions où de nombreux affleurements rappellent la présence du socle à faible profondeur. Autour du pointement, le glacis débute par une zone d'arène peu épaisse, de pente assez douce, plus ou moins vallonnée, mêlée de nombreux débris de roches. Plus loin, le réseau hydrographique s'organise et les multiples ravines font place, dans un relief adouci, à des épandages d'arènes sableuses grossières plus étendues, au-delà desquelles s'observent des colluvions argilo-sableuses qui font la jonction avec les zones alluviales où serpentent les bahrs. Au nord du 9° de latitude Nord, les versants des massifs granitiques sont fréquemment ennoyés sous des sables venus se plaquer là, sous l'influence des vents.

- Les granito-gneiss, les micaschistes s'observent en affleurements plans à peine visibles que montrent les ravines d'érosion.

- Les micro-granites, très fracturés, se présentent en étroits alignements, sous forme d'arêtes vives aux éboulis nombreux ou en bosses arrondies. Un cailloutis quartzeux abondant les entoure.

- Les grès (Borkou, Ennedi, Tibesti) montrent plusieurs faciès :
  . faciès en tables discontinues au milieu des plaines intérieures. Ces tables portent fréquemment des amoncellements sableux accolés sur leurs versants.
  . faciès en terril dans un relief plus tourmenté. Les massifs ont, ici, des pentes accusées, indice d'une érosion pluviale intense, d'un matériau plus tendre. Ces massifs de grès sont couverts d'éboulis importants d'amas ferrugineux,...
  . faciès ruiniforme au milieu des sables. Les anciennes tables gréseuses sont découpées là, souvent, en fines colonnettes dentelées qui indiquent une érosion éolienne importante d'un matériau friable (falaise d'Archeï).

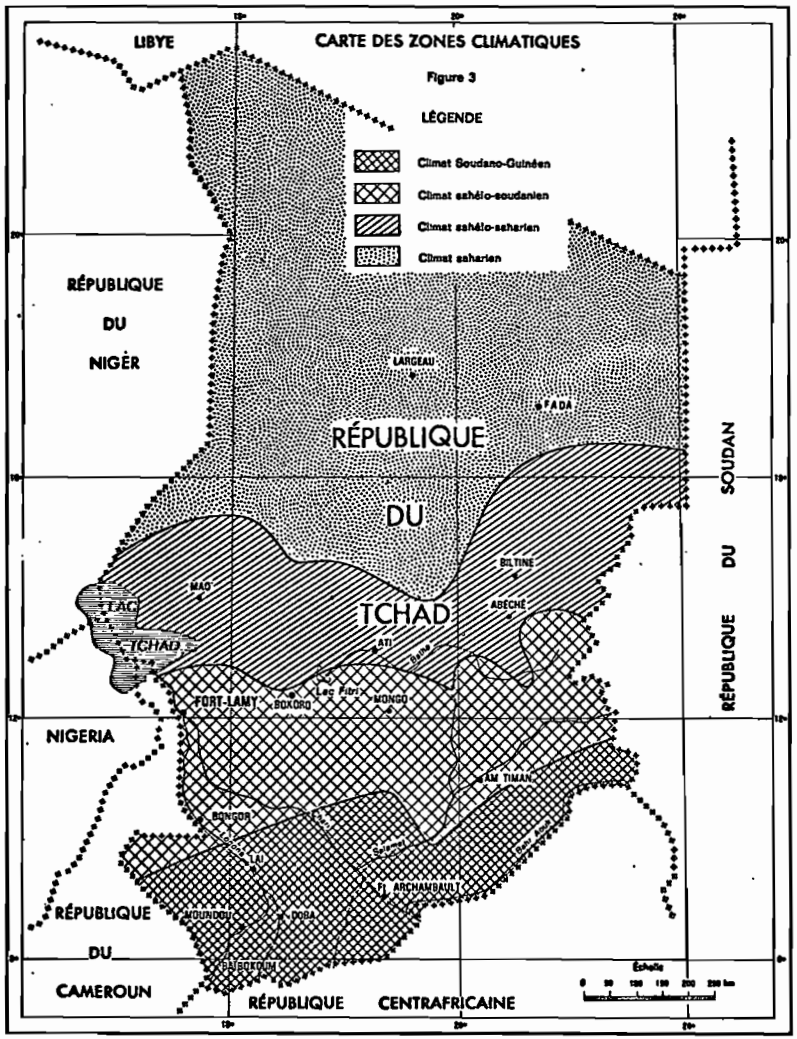
- Les roches volcaniques (Tibesti) offrent les paysages les plus divers :
  . sommets bien découpés constituant les vestiges des plus récentes activités volcaniques (Toussidé - Emi Koussi, ...);
  . plateaux d'épandage de laves ou de tufs formant de monstrueuses chaussées pavées de blocs épars;
  . calderas d'effondrements (trou au Natron);
  . vallées ou gorges entaillées dans les basaltes.

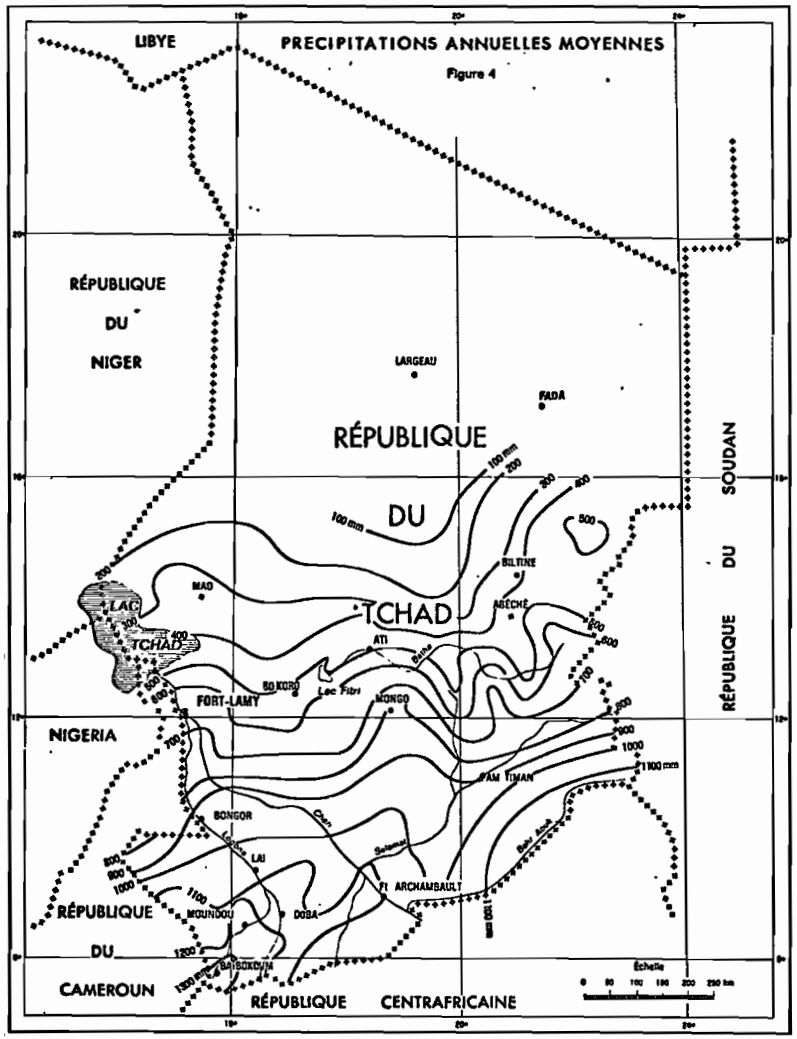
2. L E C L I M A T

La genèse des sols et leur évolution est la résultante de divers facteurs parmi lesquels les conditions climatiques régnant dans le lieu de formation sont particulièrement importantes.

Le Tchad se situe dans une gamme de climats très variés (Figure 3) ainsi définie par A.Aubréville (1950) :

- Climat soudano-guinéen, au Sud.
Points représentatifs : Fort-Archambault, Moundou, Baïbokoum.
Précipitations annuelles : 1 350 à 950 mm.
Régime tropical semi-humide.
Saison des pluies : 6 à 7 mois de mai à novembre.
Saison sèche : 5 à 6 mois de novembre à avril.


CARTE DES ZONES CLIMATIQUES
Figure 3
LÉGENDE
Climat Soudano-Guinéen
Climat sahélo-soudanien
Climat sahélo-saharien
Climat saharien
LIBYE
RÉPUBLIQUE DU NIGER
RÉPUBLIQUE DU TCHAD
RÉPUBLIQUE DU SOUDAN
NIGERIA
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
LARGEAU
FADA
MAO
BILTINE
ABÉCHÉ
LAC
TCHAD
ATI
FORT-LAMY
BOKORO
Lac Fitri
MONGO
AM TIMAN
BONGOR
LAI
FI ARCHAMBAULT
MOUNDOU
DOBA
BAIBOKOUM
Échelle


PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES
Figure 4
LIBYE
RÉPUBLIQUE DU NIGER
RÉPUBLIQUE DU TCHAD
RÉPUBLIQUE DU SOUDAN
NIGERIA
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
LARGEAU
FADA
MAO
BILTINE
ABÉCHÉ
LAC
TCHAD
ATI
BOKORO
Lac Fitri
FORT-LAMY
MONGO
AM TIMAN
BONGOR
LAI
FI ARCHAMBAULT
MOUNDOU
DOBA
BAIBOKOUM
100 mm
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300 mm
1100 mm
Échelle

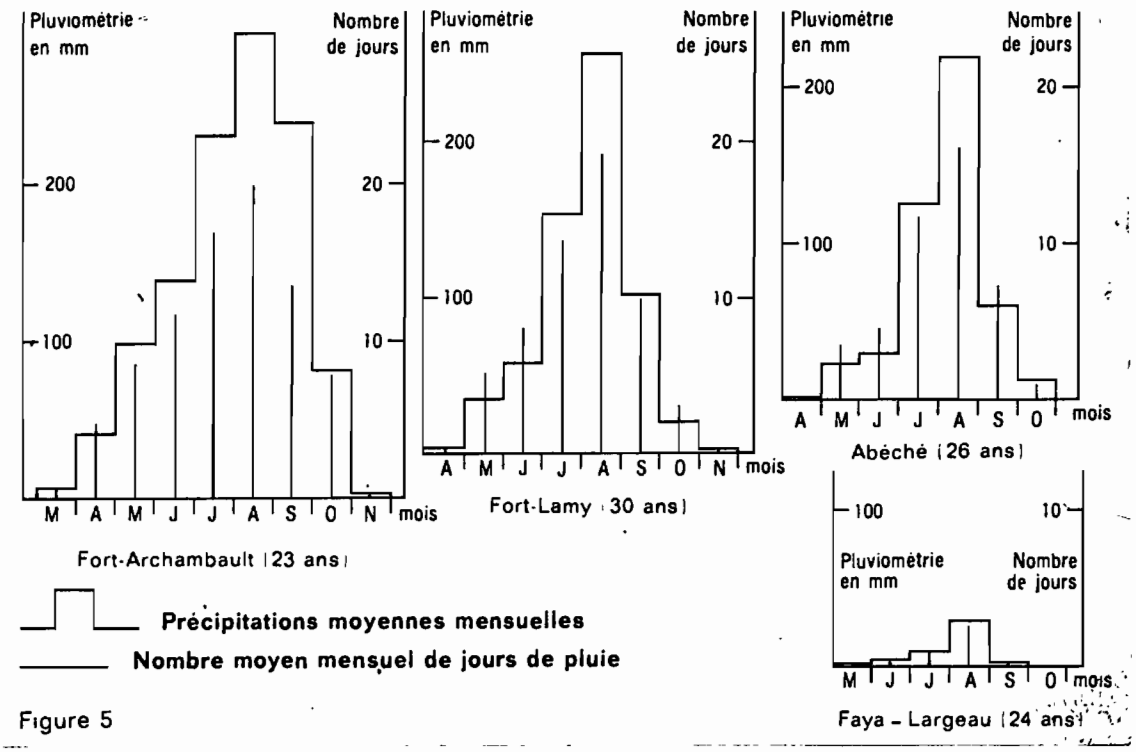


Figure 5

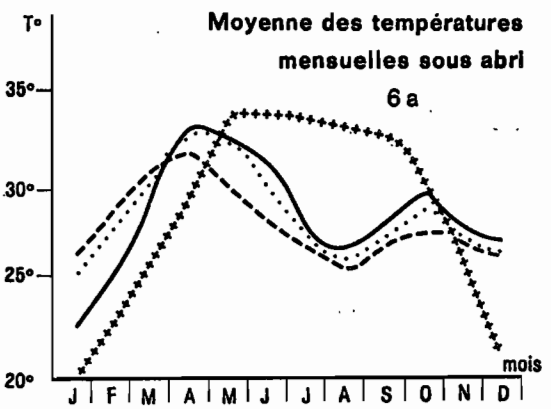
Figure 6

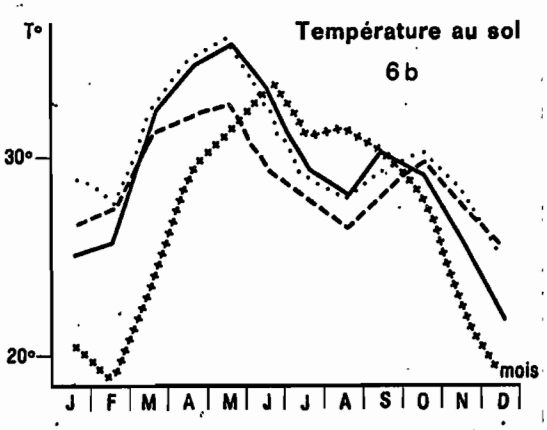
Fort-Archambault

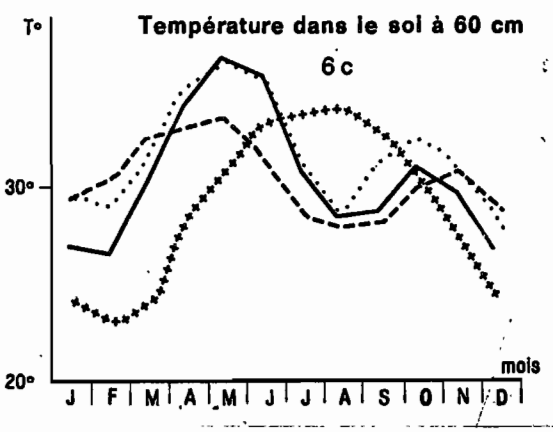
Fort-Lamy

Abéché

Faya-Largeau







- Climat sahélo-soudanien.

Points représentatifs : Bongor, Fort-Lamy, Mongo, Am-Timan, Bokoro.
Régime tropical sec.
Précipitations annuelles : 950 à 500 mm.
Saison des pluies : 4 à 5 mois de mai-juin à septembre.
Saison sèche : 7 à 8 mois d'octobre à avril-mai.

- Climat sahélo-saharien.

Points représentatifs : Mao, Abéché.
Régime subdésertique.
Précipitations annuelles : 500 à 200 mm.
Saison des pluies : 3 mois de juillet à septembre.
Saison sèche : 9 mois d'octobre à juin.

- Climat saharien au Nord.

Points représentatifs : Fada, Faya-Largeau.
Régime désertique.
Précipitations annuelles inférieures à 200 mm.
Saison des pluies : 2 mois de juillet à août; quelques rares pluies en mai-juin-septembre.
Saison sèche : 10 mois de septembre à juin.

Les variations climatiques sont commandées par les déplacements, au cours de l'année, de deux masses d'air : l'air continental du Nord-Est qui donne naissance à l'harmattan et l'air humide du Sud-Ouest dont l'avancée détermine la saison des pluies.

Les vents SW - S - SSW - W soufflent pendant la saison des pluies et correspondent à la mousson (d'avril à octobre à Fort-Archambault; de mai à octobre à Fort-Lamy).

Les vents N - NE - NW se font sentir pendant la saison sèche. Celle-ci augmente en durée du S vers le N. A Faya-Largeau, la dominante constante d'orientation est NE pour toute l'année, avec des intensités minima de mai à septembre (mois les plus pluvieux des régions sud). Cet harmattan détermine des vents de sable (Fort-Lamy - Faya-Largeau) et des brumes sèches sur toute l'étendue du territoire qui sont à l'origine d'une fine sédimentation éolienne.

Les journées calmes sans vent sont surtout nombreuses dans la partie sud du territoire où les vitesses enregistrées sont faibles. A l'inverse, l'intensité des vents est élevée dans les parties nord avec des vitesses de pointe atteignant 25 m/s (90 km/h). Les vents ont une intensité maximum vers le milieu de la journée et sont plus faibles le soir.

2.1. LA PLUVIOMETRIE. REGIME DES PLUIES.

Un important réseau d'observation permet une connaissance approfondie du régime des précipitations.

Nous donnons dans le tableau ci-après quelques uns des relevés parmi les plus représentatifs.

Poste d'observation et période		Mois J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
		Pluviométrie exprimée en mm												
Climat soudanc-guinéen														
Fort-Archambault	1	0	0,4	7,7	41,1	100,2	141,7	232,5	300,6	242,6	81,6	2,2	0	1150,6
23 ans	2	0	0,1	0,9	4,8	8,6	11,4	16,5	20	13,4	8	0,4	0	84,1
Moundou 25 ans	1	0	0	9	42	123	179	246	310	253	98	5	0	1265
Baibokoum 14 ans	1	0	0	16	69	135	151	275	312	259	126	5	0	1346
Bongor 11 ans	1	0	0,1	0,2	13,7	74,2	140	210,1	250	188,6	47,2	0	0	924,1
	2	0	0,1	0,2	2,5	7,1	8,2	12,3	15,6	10,3	4,2	0	0	60,5
Climat sahélo-soudanien														
Am-Timan 12 ans	1	0	3,4	6,6	18,3	74,3	118,8	197,2	302,5	143,7	34,9	0	0	899,7
	2	0	0,1	0,4	2,5	6,8	11,3	15,5	18,5	11,8	3,8	0	0	70,7
Mongo 12 ans	1	0	0	1,9	13,1	49,9	55,1	159,2	310	144,4	32,6	0,5	0	766,7
	2	0	0	0,7	1,9	5	8,3	14,9	17,8	11,1	3,3	0,2	0	63,2
Fort-Lamy 30 ans	1	0	0	0	5,3	36,1	66,5	157,9	259,8	102,5	21,4	0,5	0	650
	2	0	0	0	1,4	5,3	8,1	13,3	18,3	10,5	3	0,1	0	60
Bokoro 15 ans	1	0	0	0,1	2,2	36,2	55	144,9	241,9	93,7	11	0,1	0	585,1
	2	0	0	0,1	0,5	5,1	5,2	10,9	14,3	7,5	0,5	0,1	0	43,2
Climat sahélo-sa arien														
Abéché 26 ans	1	0	0	0	1,1	23,1	27,4	125,9	219,7	66	12,3	0	0	475,5
	2	0	0	0	0,5	3,2	4,5	11,2	16,2	7,2	1,2	0	0	44
Biltine 11 ans	1	0	0	0,9	0,3	8,6	12,4	117,7	163,2	35,9	5,6	0	0	344,6
	2	0	0	0,1	0,1	1,4	1,7	6,4	9,7	3,9	0,6	0	0	23,9
Mao 12 ans	1	0	0	0	0,1	12,6	17,2	91,1	152,2	43,7	3,2	0	0	320,1
	2	0	0	0	0,1	1,6	1,8	7,3	11,3	4,3	0,5	0	0	26,9
Climat saharien														
Fada 22 ans	1	0	0	0	0,4	3,9	0,7	17,2	57,6	11,2	0	0	0	91
Faya-Largeau	1	0	0	0	0	0,8	2	7,1	15,2	1,5	0,1	0	0	26,7
24 ans	2	0	0	0	0	0,2	0,1	0,7	2,3	0,2	0,1	0	0	3,6

1 Pluviométrie moyenne mensuelle
2 Nombre de jours de pluie moyen

La figure 4 montre la distribution des isohyètes sur l'ensemble du territoire du Tchad. Il s'agit de précipitations annuelles moyennes. Le nombre d'années d'observations pour chacun des postes n'étant pas pour tous le même l'isohyètogramme figuré n'a qu'une valeur relative. On constate une décroissance rapide de la pluviométrie du Sud vers le Nord (figure 5) . De 1 300 mm au Sud (8ème parallèle), nous tombons à des pluviométries inférieures à 100 mm au voisinage du 16ème parallèle.

L'intensité des précipitations est fonction de la latitude. Même dans le Sud, les précipitations supérieures à 50 mm sont exceptionnelles. Les pluies moyennes de 10 à 30 mm se produisent généralement en cours d'après-midi et englobent des étendues limitées d'un rayon de 20 à 50 km. Ces tornades peuvent être brutales, d'une durée variable allant de quelques minutes à plusieurs heures. Elles sont la cause d'un ruissellement important sur les surfaces subhorizontales (J.CABOT 1965).

2.2. LA TEMPERATURE

2.2.1. Température sous abri.

Les variations de température moyenne actuelle sont relativement faibles du Sud vers le Nord et reflètent mal les variations climatiques en latitude.

Climat soudano-guinéen		
Fort-Archambault	28°1	(13 ans)
Climat sahélo-soudanien		
Am-Timan	26°7	(8 ans)
Mongo	29°	(10 ans)
Fort-Lamy	28°1	(28 ans)
Climat sahélo-saharien		
Abéché	28°3	(17 ans)
Mao	29°1	(4 ans)
Climat saharien		
Faya-Largeau	28°3	(24 ans)

Le graphique des moyennes des températures mensuelles (figure 6a) présente pour les stations de Fort-Archambault, Fort-Lamy, Abéché :

un minimum de saison sèche en janvier;
un maximum de saison sèche en avril-mai;
un minimum de saison des pluies en août;
un maximum de fin de saison des pluies en octobre.

Les températures de Faya-Largeau, croissantes de janvier à mai, diminuent légèrement de mai à septembre et sont fortement décroissantes de septembre à décembre.

La moyenne des minima et maxima mensuels, les minima et maxima absolus, l'amplitude thermique reflètent également mieux les différences pouvant exister d'une station à une autre.

Poste d'observation	Température Moyenne mensuelle minima	maxima	Minima-Maxima absolu		Amplitude thermique (moyenne mensuelle)	
Fort-Archambault Climat soudano-guinéen	16°4 à 24°2	30°2 à 39°8	10° (12) *	45° (4)	8°9 (8)	20° (12-1)
Fort-Lamy Climat sahélo-soudanien	13°8 à 24°9	32°3 a 41°4	8°2 (1)	47° (3)	8°8 (8)	21°9 (1)
Abéché Climat sahélo-saharien	16°4 à 25°1	30°9 à 40°4	8°3 (1)	49°5 (5)	8°8 (8)	18°1 (1)
Faya-Largeau Climat saharien	13°5 à 25°6	26°9 à 42°	4°5 (1) **	49°7 (4-5)	13°3 (12-1)	17°2 (4)

2.2.2. Température au sol et dans le sol

Les températures au sol et dans le sol sont supérieures à celles enregistrées sous abri (figures 6b et 6c). L'allure générale des courbes est identique à celle de la figure 6a avec les mêmes minima et maxima, mais les crochets sont plus accusés. Les températures minima et maxima absolues enregistrées sur sol nu (année 1961) marquent encore mieux les contrastes saisonniers.

	Températures maxima	Températures minima
Fort-Archambault	47°8 (mars)	9° (janvier)
Fort-Lamy	52°5 (mai)	3° (décembre)
Abéché	50°2 (mai)	10° (décembre)
Faya-Largeau	52°9 (juin)	3° (février)

* Les chiffres entre parenthèses représentent le numéro d'ordre du mois.

** Des températures inférieures à 0° sont fréquentes dans le massif du Tibesti sur les hauts plateaux.

2.3. L'HYGROMETRIE

La teneur en vapeur d'eau de l'air atteint presque la saturation pendant la saison des pluies; elle est au contraire, très basse pendant la période sèche. En cours de journée, l'hygrométrie est le plus fort le matin, est minimum en milieu de journée et se relève finalement le soir.

On assiste du Sud vers le Nord à des variations très importantes de l'hygrométrie qui sont le reflet de l'accentuation de l'aridité du climat.

Lieux et période d'observation	Humidité relative en % * Minima	Maxima
Fort-Archambault (5 ans) Climat soudano-guinéen	60 - 16 - 31 (1) 51 - 16 - 27 (2)	94 - 68 - 82 (7) 96 - 70 - 88 (8) 95 - 67 - 86 (9)
Fort-Lamy (25 ans) Climat sahélo-soudanien	41 - 15 - 20 (3)	91 - 69 - 80 (8) 89 - 64 - 79 (9)
Abéché (9 ans) Climat sahélo-saharien	24 - 14 - 17 (2) 20 - 13 - 16 (3)	90 - 66 - 79 (8) 81 - 47 - 65 (9)
Faya-Largeau (21 ans) Climat saharien	28 - 15 - 20 (3) 23 - 12 - 17 (4) 28 - 15 - 21 (5)	46 - 28 - 25 (7) 55 - 28 - 35 (8) 35 - 19 - 26 (9)

* Hygrométrie relevée à 7h, 13h, 19h.

2.4. EVAPORATION

Les quantités d'eau évaporée sont importantes et croissent du Sud vers le Nord en même temps que la tension de vapeur d'eau de l'atmosphère décroît.

Les évaporations citéos ci-dessous ont été mesurées à l'aide de l'appareil Piche et sont données en mm. Le maximum de l'évaporation se situe en saison sèche, le minimum en saison des pluies.

Climat soudano-guinéen Fort-Archambault 1961	sahélo-soudanien Fort-Lamy 1956	sahélo-saharien Abéché 1959-1961	saharien Faya-Largeau 1961
322 (2) 310,8 (3) Autres annees 1955:1495 mm 1956:1750 mm 51,4 (7) 49,9 (8) 50,4 (9) 76,4 (10) 2027 mm	436,5 (3) 476,3 (4) Autres annees 1955:3004,8mm 1961:3143,2mm 148,8 (7) 73,3 (8) 86,9 (9) 204,2 (10) 3222,2 mm	546,1 (3) 544,8 (4) 314,5 (7) 100 0 (8) 173,8 (9) 341,9 (10) 4465,1 mm	635,7 (4) 659 0 (5) 666,2 (6) 455,6 (7) 369,1 (8) 585,2 (9) 415,3 (12) 6420,3 mm

D'autres mesures d'évaporation effectuées par le Centre ORSTOM de Fort-Lamy à l'aide de bacs Colorado, notamment sur le lac Tchad (bacs flottants), ont permis d'évaluer l'évaporation sur celui-ci à 2000-2300 mm, donc très inférieure aux autres résultats pour la même région. Ceci est dû au fait qu'il se crée sur une vaste nappe d'eau libre une couche d'air saturé, alors qu'en bac enterré ou sur la section de l'appareil Piche, l'air humide est sans cesse renouvelé par de l'air sec (A.BOUCHARDEAU 1958).

2.5. INDICES CLIMATIQUES

Le calcul de divers indices climatiques a pour but la comparaison dos données globales de diverses stations et de montrer en même temps l'accentuation progressive des conditions d'aridité.

2.5.1. Indice d'aridité de de Martonne

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

P pluviométrie moyenne annuelle exprimée en mm.
T température moyenne annuelle.

Fort-Archambault	33 0
Am-Timan	24,5
Fort-Lamy	17,1
Abéché	12,4
Mao	8,2
Faya-Largeau	0,7

2.5.2. Rapport $\frac{\text{évaporation}}{\text{pluviométrie}}$

Fort-Archambault	1955	1,22
	1956	1,76
Fort-Lamy (1956)		4,4
Abéché (moyenne)		9,4
Mao (1956)		13,9
Faya-Largeau (1961)		221,4

2.5.3. Indice de drainage de Aubert - Hénin (1945)

Le calcul de cet indice permet la connaissance théorique des quantités d'eau de pluie migrant en profondeur, lessivant le sol, et étant susceptibles d'aller alimenter une nappe et de constituer une réserve d'eau utile aux plantes pérennes pour passer la saison sèche.

Le tableau suivant schématise la correspondance théorique admise existant entre l'indice de drainage D et les types de sols.

D	Type de sol
Supérieur à 200 mm	Ferrallitisation possible
De 200 à 90 mm	Sol ferrugineux tropical lessivé et non lessivé
De 90 à 30 mm	Sol steppique
Inférieur à 30 mm	Sol subdésertique

La distribution géographique des sols en Afrique et notamment au Tchad montre bien une telle répartition.

$$D = \frac{\gamma' P^3}{1 + P^2}$$

$$\gamma' = \alpha \gamma$$

$$\gamma = \frac{1}{0{,}15\ T - 0{,}13}$$

α = 1 limon
1/2 argilo
2 sable

P pluviométrie moyenne annuelle
T température moyenne annuelle

	Sols sableux	Sols argileux	Sols limoneux
	D exprimé en mm		
Fort-Archambault	469	167	281
Am-Timan	266	86	155
Fort-Lamy	111	32	61
Abéché	50	13	25
Mao	15	4	7
Faya-Largeau	< 1 mm		

3. LA VEGETATION

Nous ne distinguerons ici que les grands types de végétation correspondant aux grandes unités climatiques définies par A.AUBREVILLE. La liaison existant entre le sol, ses propriétés (texture, structure, valeur du complexe absorbant, salinité,...) et les formations végétales sera analysée plus loin,

dans un second ouvrage.

3.1. LE DOMAINE SOUDANO-GUINEEN, qui se maintient jusqu'à l'isohyète 950-1000 mm, est caractérisé par une savane arborée forestière aux multiples espèces où dominent : Parkia biglobosa, Pterocarpus lucens, Butyrospermum parkii, Prosopis africana, Swartzia madagascariensis, Daniellia oliveri, Isoberlinia doka, Uapaca sonon, Parinari curatellaefolia. Elle est accompagnée d'un tapis de hautes graminées (Pennisetum pedicellatum). Les cours d'eau sont alors bordés d'une forêt galerie où l'on voit apparaître le palmier à huile Elaïs guineensis.

3.2. LE DOMAINE SAHELO-SOUDANIEN, qui fait suite au précédent jusqu'à l'hysoyète 500 mm, est constitué par une savane arborée aux espèces différentes formant un couvert moins dense qui se raréfie progressivement vers le Nord. C'est ici le lieu d'élection de Combretum divers, d'Anogeissus leiocarpus, Sclerocarya birrea, Borassus aethiopum, Hyphaene thebaica avec un sous bois de Capparis corymbosa, Bauhinia reticulata, Guiera senegalensis,... et un tapis haut et dense d'Andropogonées (Hyparrhenia sp., Cymbopogon sp., Andropogon sp.,...).

3.3. LE DOMAINE SAHELO-SAHARIEN, qui se trouve plus au Nord, est marqué par une raréfaction de la strate arborée tandis que les espèces arbustives prennent plus d'importance (Guiera senegalensis, Cadaba farinosa, Boscia senegalensis, Bauhinia rufescens,... à laquelle s'ajoutent des épineux : Acacia senegal, Acacia scorpioides,... et Hyphaene thebaica qui continue à croître ici), avant de céder le pas à la pseudo-steppe. Celle-ci est d'abord caractérisée par un tapis d'Andropogonées où domine Cymbopogon giganteus auquel succède, plus au Nord, un tapis graminéen aux espèces variées : Aristidées diverses, Cenchrus biflorus, Ctenium elegans, Schoenenfeldia gracilis,...

Progressivement vers le Nord vont apparaître ou se maintenir quelques espèces arborées ou arbustives : Maerua crassifolia, Capparis decidua, Acacia raddiana, Balanites aegyptiaca, Commiphora africana,...

3.4. LE DOMAINE SAHARIEN au nord de l'isohyète 200 mm se caractérise par une végétation graminéenne très contractée qui procède par plages alternant avec des espaces nus. Celle-ci est constituée par des Panicum turgidum, Aristidées diverses accompagnées d'une strate herbacée de Chrozophora senegalensis, Cassia obovata,... Quelques arbres cités précédemment subsistent encore çà et là.

Enfin, s'observent en Ennedi (GILLET 1959) quelques espèces relictes qui témoignent de variations climatiques au cours de l'ère quaternaire et dénoncent la remontée plus nordique du domaine sahélo-soudanien (Anogeissus leiocarpus, Combretum gallabatense, Bauhinia reticulata, Diospyros mespiliformis,

Tamarendus indica, Dichrostachys glomerata). De même au Tibesti (R.MAIRE, Th. MONOD 1949), se notent des vestiges d'une flore méditerranéenne qui permet de définir l'extrême avancée ancienne de cette influence climatique.

4. HYDROGRAPHIE

Plusieurs réseaux hydrographiques (figure 7) s'observent dans l'ensemble du Tchad, mais la cuvette tchadienne est surtout parcourue par deux grands fleuves : le Logone et le Chari dont les eaux vont se rassembler au nord de Fort-Lamy dans le Lac Tchad, après avoir inondé pendant la crue les étendues riveraines et donné naissance à de nombreux défluents.

4.1. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU LOGONE ET CHARI - LE LAC TCHAD - LE LAC IRO (O.R.S.T.O.M. HYDROLOGIE 1953 à 1965, J.RODIER, A.BOUCHARDEAU, B.BILLON, R.BERTHELOT ...)

Il s'observe dans la partie SW du territoire.

4.1.1. Le Logone

Il prend naissance à 1 200 m d'altitude dans le plateau de l'Adamaoua (Cameroun). Long de 1 000 km, il porte le nom de Wina au Cameroun, reçoit la M'Béré grossie du Ngou et la Lim. L'ensemble constitue le Logone occidental qui collecte la Pendé ou Logone oriental, puis sur la rive gauche la Tandjilé issue des plateaux Lakas. Ce fleuve ne recevra plus ensuite aucun affluent jusqu'à sa confluence avec le Chari mais lui retourneront, plus en aval par l'intermédiaire de défluents, des eaux perdues en amont. Il sera aussi alimenté par les cours d'eau descendus des Monts Mandara (Mayos Boula, Tsanaga, Balda, Motorsolo, Ranéo, Mangafé,...) qui vont se perdre dans un immense Yaéré sur sa rive gauche.

Le cours du Logone peut être scindé en trois tronçons :

- cours supérieur où le fleuve et ses affluents coulent par des vallées larges et encaissées dans les formations du socle et le Continental Terminal jusqu'à Laï.

- cours moyen de Laï à Bongor constitué dans les formations quaternaires anciennes où le cours du Logone est marqué par d'importants bourrelets interrompus par des zones de départ de défluents. Au plus fort de la crue, les eaux submergent les bourrelets, l'inondation se fait alors en nappe ne laissant émergées que quelques buttes.

Sur la rive droite du fleuve, de nombreuses zones dépressionnaires servent de passages aux eaux de déversement. Celles-ci, drainées vers le Nord par suite de la pente générale du terrain, vont constituer le Ba -Illi qui coule au fond de la dépression inter Logone-Chari.

Sur la rive gauche, la zone de déversement se situe dans la région d'Eré. Les eaux empruntent la dépression du Lac Boro, rejoignent les cours de la Loka et de la Kabia et, par cette dernière, se déversent dans les lacs de Tikem-Fianga. Elles prennent ensuite le chemin de la Bénoué par le mayo Kebbi et les lacs Toubouris. Les pertes par déversement sont estimées dans cette région à un million de mètres cubes les années de fortes crues.

- cours inférieur du nord de Bongor à la confluence avec le Chari.

A partir de Katoa-Gansaï, sur la rive droite, de Pouss-Tékélé sur la rive gauche, les bourrelets ne forment plus qu'une ligne très discontinue à peine visible et le déversement est général sur les deux rives. Le fleuve entaille alors des formations quaternaires récentes.

Les défluents qui prennent naissance sont sur la rive droite : l'Oulia, le Koulambou, le mayo Karaska,... tandis qu'au Nord, se rassemblent les eaux de la Loumia, du Ba-Illi, du Koulambou; sur la rive gauche : le Guerléo, le mayo Goroma, l'Arénaba, la Logomatia, la Diona,... et au nord de Zymado, de nombreux défluents orientés SE-NW.

Régime, débits et déversements.

Le régime du Logone est caractérisé par une crue qui débute avec le commencement de la saison des pluies (mai-juin). Peu importante pendant cette première phase, elle annonce la grande crue qui s'amorce en juillet et se poursuit jusqu'en octobre avec un maximum dans ce dernier mois. La décrue est régulière dès la fin octobre. L'étiage se situe en avril-mai. Au plus fort de la crue, le Logone inonde les plaines environnantes par ses déversements. On observe pendant cette période une diminution progressive des débits de l'amont vers l'aval qui est la conséquence des pertes subies par le fleuve. Le Logone perd ainsi, par déversement, entre Laï et le confluent du Chari 20 à 30% de son débit (figure 8).

Les pertes :

- dans son cours moyen, entre Laï et Bongor, sont presques nulles en saison sèche. En année de forte crue, elles dépasseraient le milliard de mètres cubes.
- dans son cours inférieur, sont importantes, quelle que soit l'année et se chiffrent par plusieurs milliards de mètres cubes(1).

(1) Volumes annuels débités par le Logone en milliards de m^3 : 1953 année de faible crue; 1955 année de forte crue.

Lieu	1953	1955
Laï	13,15	22,52
Bongor	14,67	21,54
Katoa	12,46	15,5
Logone-Gana	11,2	
Logone-Birni	10,8	13,6

4.1.2. Le Chari

Il prend ce nom en amont de Fort-Archambault et résulte de la jonction de plusieurs rivières venant de la République Centrafricaine.

Après son entrée au Tchad, il reçoit :

- sur sa rive droite :

  . le bahr Aouk qui draine les eaux d'une importante dépression;
  . le bahr Keïta issu de la jonction des bahrs Koubo Abou Gara et Koubo Abou Azrak;
  . le bahr Salamat qui résulte de la confluence des bahrs Korom, Sakay et Djourf descendant du massif tchadien et du bahr Azoum, important cours d'eau de 610 km de long dont une partie coule au Soudan et qui va alimenter la vaste dépression du Sud d'Am-Timan.

A partir de la confluence du bahr Salamat, le Chari ne recevra plus rien sur sa rive droite, mais donnera naissance à quelques importants défluents.

- sur sa rive gauche :

  . la grande et petite Sido;
  . l'Ouham grossie du Mandoul;
  . le Ba-Illi de Bousso;
  . le Logone.

Le cours du Chari peut être subdivisé en trois tronçons :

- cours supérieur : de sa source à Niellim où le fleuve entaille le socle ou le Continental Terminal et reçoit ses principaux affluents.

- cours moyen : de Niellim à Fort-Lamy, où le Chari recoupe profondément les formations quaternaires anciennes et récentes et donne naissance à des défluents :

  . bahr Korbol qui prend ensuite le nom de bahr Erguig;
  . bahr Gatamoro;
  . bahr Ligna, ...

Le Batha de Lairi, plus à l'Est, devait être anciennement et partiellement alimenté par les débordements du Chari bien qu'aucune communication ne soit actuellement visible.

- cours inférieur : de Fort-Lamy au Lac Tchad. Le fleuve recoupe, dans cette partie, des formations quaternaires récentes, en même temps qu'il a donné naissance à une multitude de défluents, la plupart aujourd'hui non fonctionnels, qui rejoignaient le Lac Tchad (bahrs Biher, Serbewel, Taf-Taf, Erédip,...).

Régime, débits et déversements.

Son régime est sensiblement identique à celui du Logone. La crue débute en juin pour atteindre son maximum en octobre-novembre (2 500 à plus de 4 000 m^3/s, suivant l'année considérée à Fort-Lamy). La décrue est régulière à partir de novembre et l'étiage a lieu en avril-mai (150 à 200 m^3/s). Nous donnons, à titre d'exemple, les courbes de débit du Chari en 1958 (année de faible hydraulicité) et en 1955 (année de forte hydraulicité) à Fort-Lamy et à Mailao (figure 9).

Le bahr Salamat qui constitue un des principaux affluents du Chari, a un débit relativement modeste : 80 à 100 m^3/s en octobre, 1 m^3/s en avril à Tarangara (année 1956-1957).

Le bahr Azoum, dont la pointe terminale se trouve au sud d'Am-Timan, a un débit plus important mais ses eaux vont se perdre dans une vaste dépression que parcourent les bahrs Keïta et Aouk et leurs affluents. Son débit maximum serait de 700 à 800 m^3/s, mais des pertes importantes le ramèneraient à 284 m^3/s, chiffre noté en 1956 à Am-Timan.

Les débits enregistrés du défluent le plus important du Chari, le bahr Erguig, sont aussi modestes : 200 m^3/s en octobre en 1960 à Bilé, tandis qu'en saison sèche son cours, sans écoulement, n'est qu'une succession de mares.

Le Batha de Lairi qui alimente le lac Fitri et dont le cours fait partie d'un ancien système de défluents du Chari, a un débit encore plus modeste : 1 m^3/s mesuré en septembre 1960 à Lairi.

4.1.3. Le Lac Tchad (A. Bouchardeau R. Lefèvre 1957)

Actuellement, ce lac couvre une superficie variable suivant le caprice des crues, comprise entre 10 000 et 25 000 km^2 et comporte :

- 2 immenses zones d'eaux libres séparées par la "grande barrière" : l'une au NW, l'autre à l'embouchure du Chari;
- l'archipel le long de la rive NE, constitué par des chapelets d'îles alignées NW SE;
- 2 zones de marécages, l'une au SW, l'autre à l'Est dans la partie sud des eaux libres.

La profondeur moyenne est de 3,50 m dans les eaux libres du Sud, de 7 m dans les eaux libres du Nord avec des hauts-fonds de 4 m. Ces différences semblent provenir des apports récents du Chari dans la partie sud. Les fonds sont constitués par des vases qui ennoient partiellement ou totalement le système dunaire qui se poursuit sous le niveau du lac en s'atténuant en direction SW.

Les eaux du Lac Tchad sont très peu minéralisées (40 à 100 mg/litre). Elles contiennent des diatomées en quantités importantes (10 à 50 000 individus par litre). Il y en a moins dans les eaux du Logone et Chari (2 000 par litre)

et davantage à la décrue qu'à l'étiage. Dans le lac, il s'agit principalement de diatomées centriques du genre Melosira (J.BLACHE, 1957).

Le Lac Tchad est alimenté :

- par les apports de différents fleuves : Chari, El Béid, Komadougou, dont le maximum de la crue se situe d'octobre à décembre. 40 milliards de m^3 sont ainsi apportés chaque année, dont 95% par le Chari;
- par les précipitations tombées sur l'ensemble du lac, estimées à 420 mm en 1956;

A l'inverse, la hauteur d'eau annuelle évaporée serait de 2280 mm.

Le niveau du lac passe par un minimum fin juillet-début août, date à partir de laquelle il amorce une remontée constante pour atteindre la cote maximum vers le 15 janvier. La différence de niveaux entre hautes et basses eaux est de l'ordre de 70 cm à 1 m. La redescente de ce niveau vers le minimum montre la même constance. Nous reproduisons (figure 10) les variations du niveau du lac de 1955 à 1961.

Nous aurons l'occasion d'étudier plus loin les transgressions de ce Lac Tchad au cours du Quaternaire.

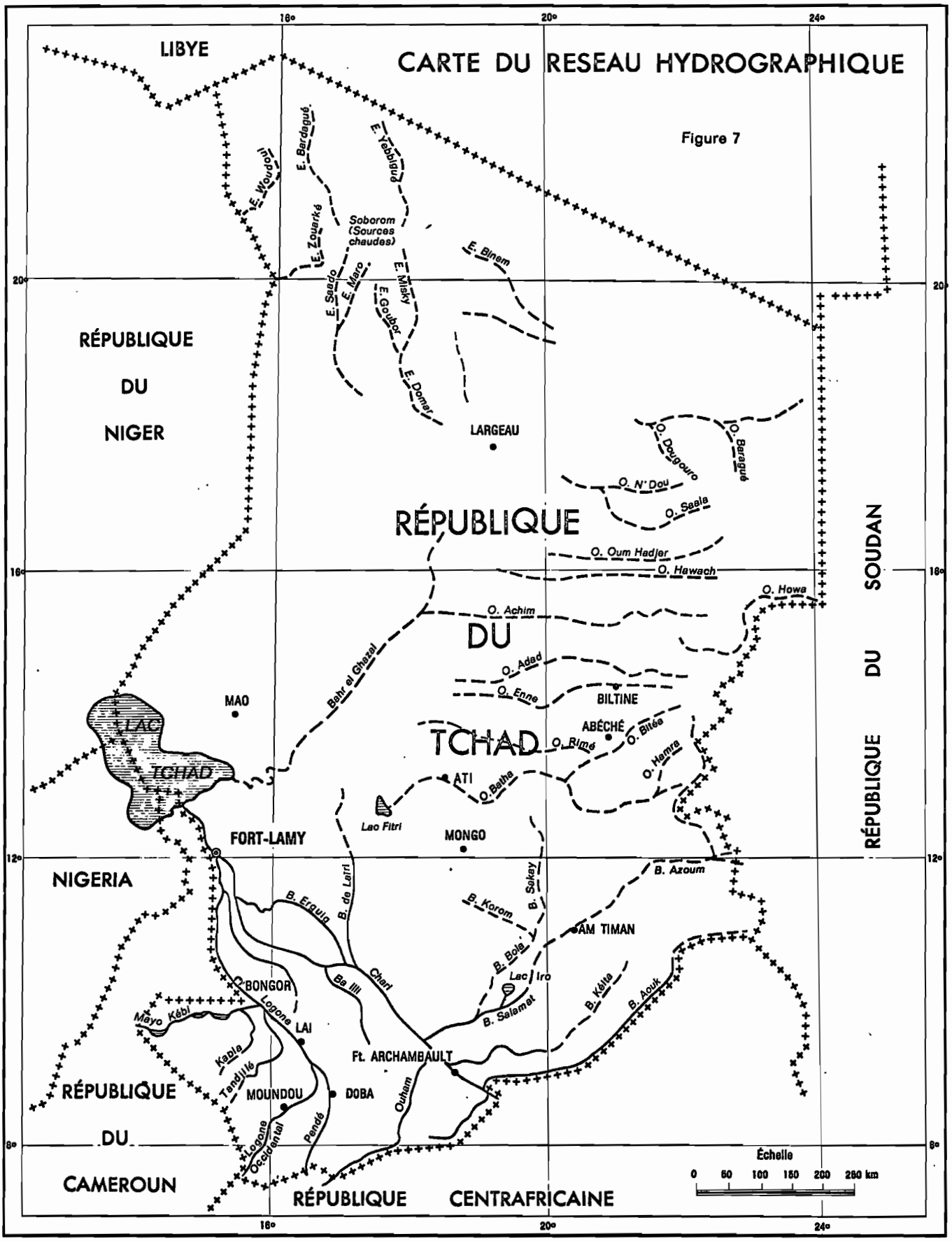
4.1.4. L e L a c I r o

Il apparaît comme un lac résiduel d'une ancienne étendue lacustre beaucoup plus vaste qui occupait toute la dépression comprise entre le bahr Salamat et le bahr Aouk. D'une surface de 95 km^2, il est ceinturé par des cuirasses ferrugineuses, sauf dans sa partie sud-ouest. Un bras du bahr Salamat le rejoint au Sud. Par ce bras, en période de crue, le bahr alimenterait le Lac Iro, tandis qu'un courant inverse s'installerait en décrue. Des renseignements fournis par le Service Hydrologique du Centre ORSTOM de Fort-Lamy nous indiquent que la variation de son niveau pour l'année 1959-1960 a été de 2,02 m avec le niveau le plus bas le 14 juillet et le plus haut fin octobre. Il n'a été effectué aucun relevé bathymétrique. A 1 km des rives, la lame d'eau atteint seulement une épaisseur de 80 cm.

4.2. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BATHA - LE LAC FITRI (J.TIXIER, M.BESLON, M.THIEBAUT, A.BOUCHARDEAU 1960 - A.BOUCHARDEAU-J.TIXIER 1958)

4.2.1. L e B a t h a

Il prend naissance dans le massif du Ouaddaï au sud-ouest d'Adré et


CARTE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE
Figure 7
LIBYE
RÉPUBLIQUE DU NIGER
RÉPUBLIQUE DU TCHAD
RÉPUBLIQUE DU SOUDAN
NIGERIA
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
E. Woudoui
E. Bardagué
E. Yabbidoré
E. Zouarké
Soborom (Sources chaudes)
E. Saado
E. Maro
E. Misky
E. Goubor
E. Domaï
E. Binem
LARGEAU
O. Dougouro
O. Baraguié
O. N'Dou
O. Saala
O. Oum Hadjer
O. Hawach
O. Howa
O. Achim
O. Adad
O. Enne
BILTINE
ABÉCHÉ
O. Biléa
O. Rimé
O. Hamra
O. Batha
ATI
MAO
LAC TCHAD
Bahr el Ghazal
Lao Fitri
MONGO
FORT-LAMY
B. Azoum
B. Sakay
B. Korom
B. de Lairi
B. Erguig
AM TIMAN
B. Bola
Lac Iro
B. Kélta
B. Aouk
Chari
Ba Illi
BONGOR
Logone
Mayo Kébi
LAI
B. Salamat
Kabia
Tandjilé
Ft. ARCHAMBAULT
MOUNDOU
DOBA
Ouham
Logone Occidental
Pendé
Échelle
0 50 100 150 200 250 km
16°
18°
20°
24°
8°
12°
16°
20°

Débits comparés du Logone à Laï, Bongor, Koumi, Katoa, Gamsaï.

Crue de 1955.

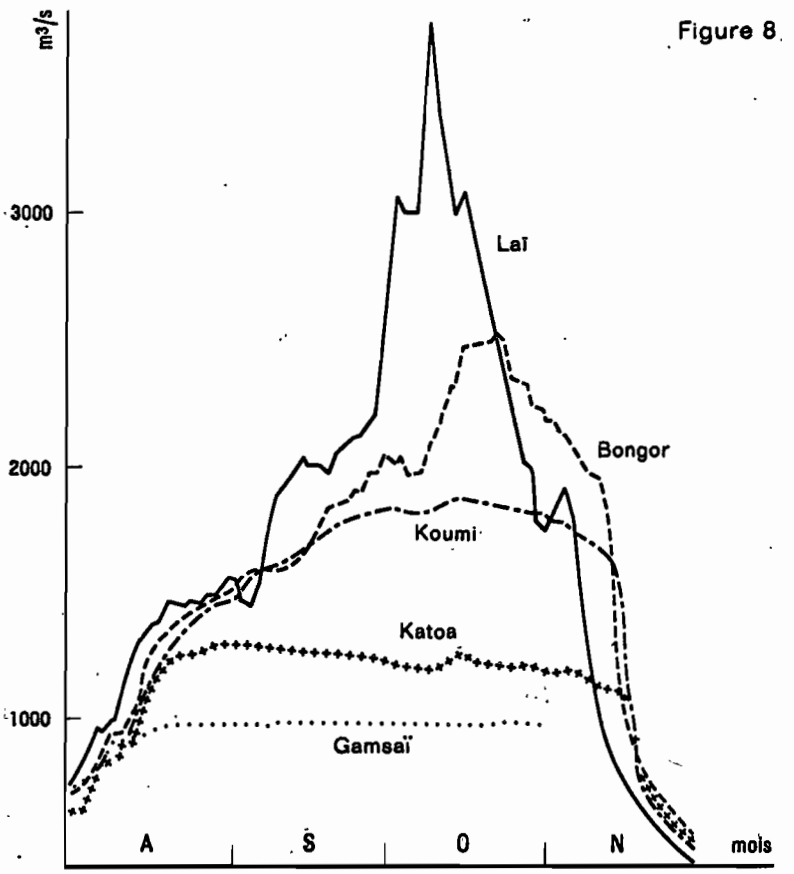


Figure 8

Débits comparés du Chari à Mailao et Fort-Lamy en 1955 et 1958.

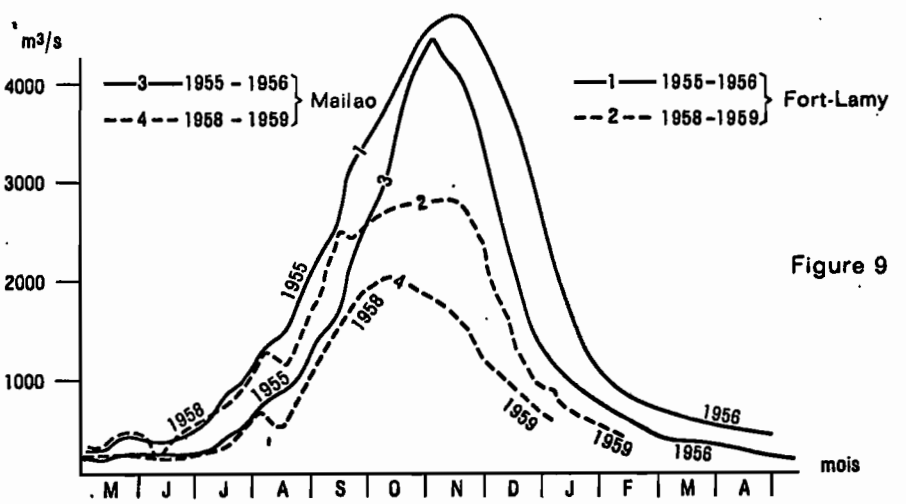
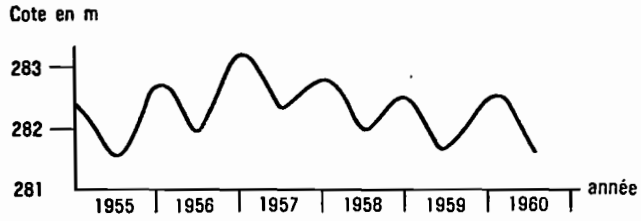
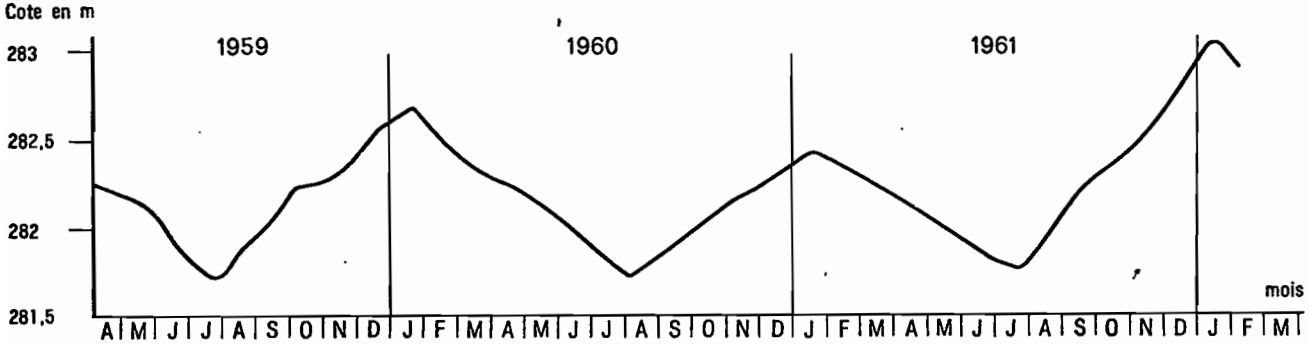


Figure 9

Niveaux du Lac Tchad.

Figure 10





Débit du Batha en 1959 à Oum-Hadjer et Ati et en 1960 à Oum-Hadjer.

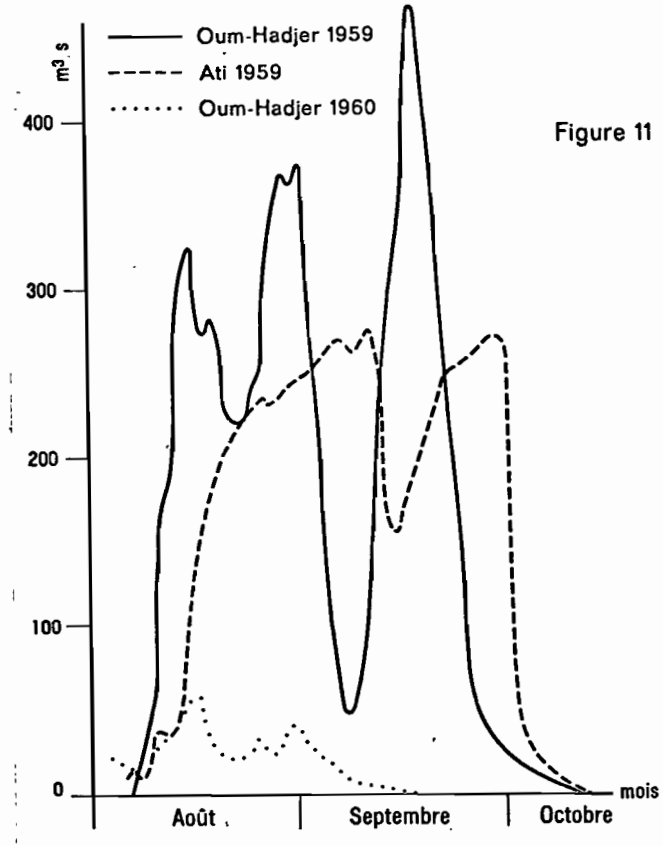


Figure 11

Débit de l'Ouadi Enné à Biltine :
26 – 27 – 30 – 31 Juillet 1961

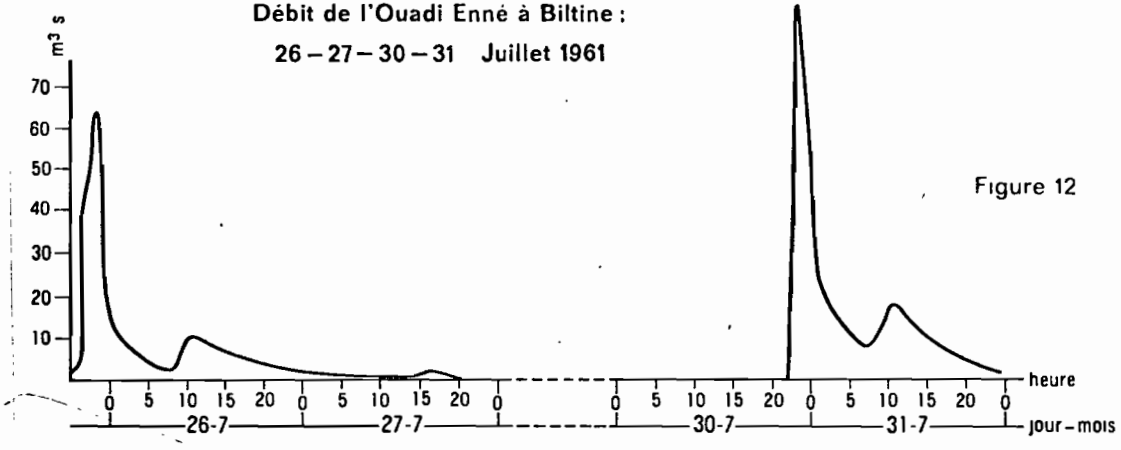
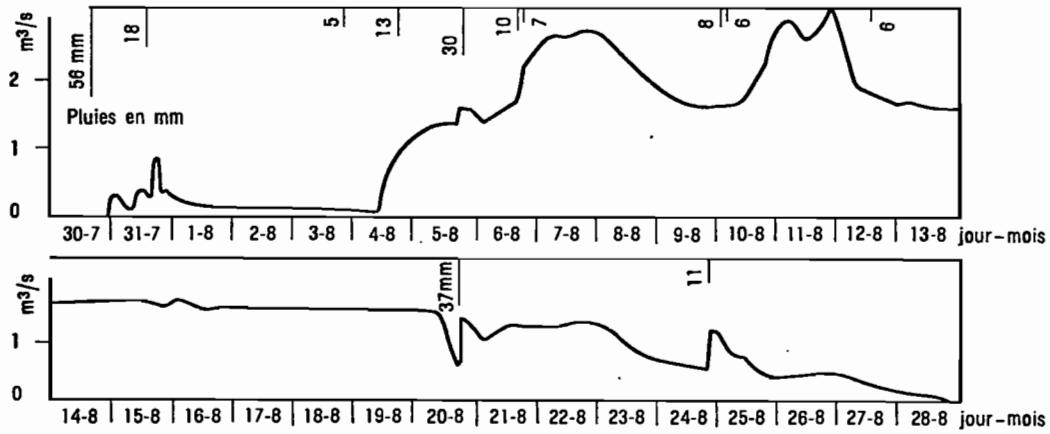


Figure 12

Courbe des débits de l'Ouadi Hawach en 1959

Figure 13



Variation de la salinité des eaux du Logone et du Chari

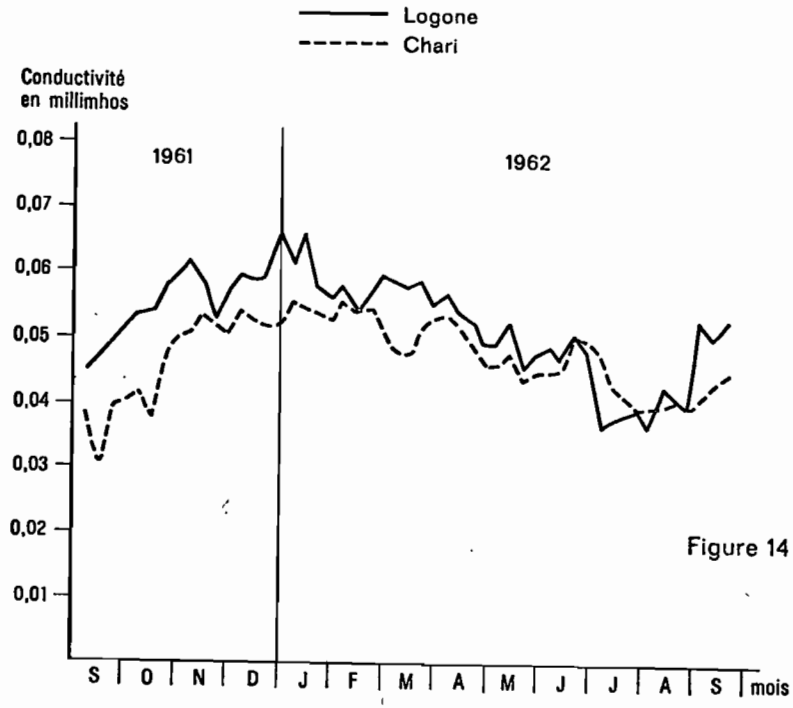


Figure 14

coule en zone climatique sahélo-saharienne, d'abord sur le socle cristallin puis dans des formations sédimentaires quaternaires. A Am-Dam, il recoupe des formations sableuses avant de traverser d'inportants "regs". Son cours sableux est ici encaissé, le lit majeur occupe une terrasse importante et s'élargit au nord d'Am-Dam après la jonction Bithéa-Batha, lieu à partir duquel le Batha entre à nouveau dans des formations sableuses qu'il a fortement démantelées pour se frayer un passage en direction du Lac Fitri. En aval d'Ati, le Batha se divise en une infinité de bras qui vont se perdre dans la zone marécageuse qui précède le Lac Fitri à l'est de Yao.

Le Batha reçoit :

- sur sa rive droite :

les ouadis Hamra, M'Bah, Nabak et la Bitéa le plus important de tous, elle-même grossie des ouadis Mandjobo et Loborlé. Cette rivière a un cours supérieur aussi important que celui du Batha. Au débouché des massifs, après avoir traversé des formations sableuses au sud d'Abougoudam, elle s'élargit en un marécage d'alluvions argileuses de plusieurs kilomètres. L'apport des eaux de cette rivière au Batha est faible, une grande partie de celles-ci se perdant lors de la traversée des sables à la sortie des massifs. Le Batha ne recevra plus rien sur sa rive droite à partir de sa confluence avec la Bitéa.

- sur sa rive gauche :

en provenance du massif central tchadien, les ouadis M'Bormo, le Melmélé, le Bambam. Ces deux derniers franchissent le cordon sableux à l'ouest de Birni pour le rejoindre dans la partie deltaïque de son cours.

Régime et débits

Le Batha et ses affluents sont des ouadis intermittents coulant seulement en saison des pluies, de juillet à octobre. Ils présentent, en saison sèche, un lit sableux où subsiste une nappe peu profonde qui sert à l'alimentation en eau des villages qui se rassemblent sur les bourrelets latéraux. Les débits enregistrés sont très variables d'une année à l'autre, suivant l'importance de la crue (figure 11). Le coefficient d'écoulement est faible, différent suivant la pluviométrie de l'année considérée. Il est en général de 2 à 3%.

4.2.2. Le Lac Fitri

D'une superficie de 420 km^2 aux basses eaux, celle-ci peut être doublée ou même triplée au maximum de la crue par suite de l'inondation d'importants marécages dans la zone deltaïque du Batha et des incursions du lac dans le système dunaire du SW. L'amplitude de variation du niveau du Lac Fitri est variable avec les années, en relation avec la crue du Batha. Elle peut atteindre 1,50 m à 2 m. Le niveau le plus bas du lac se situe en juillet, tandis que son maximun est atteint fin septembre. En 1955, année de forte crue, le minimum a eu lieu vers le 5 juillet (1,66 m à l'échelle), le maximum le 20 septembre

(3,26 m). En 1961, la cote maximum enregistrée à l'échelle était de 3,66 m (année de très forte crue); en 1962, de 3,17 m. En 1913, année de particulière sécheresse, le Lac Fitri se serait asséché complètement, causant la perte de milliers de têtes de bétail ainsi que celle de la faune aquatique du lac (crocodiles, hippopotames). - GILLET, 1964 b -

Les eaux du Lac Fitri sont très peu minéralisées, à l'exemple de celles du Lac Tchad.

4.3. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE L'EST TCHADIEN (R.BRAQUAVAL 1957 - M.ROCHE 1958-1960 - J.TIXIER, M.BESION, M.THIEBAUT, A.BOUCHARDEAU 1960)

En dehors du Batha au cours bien dessiné, aux rives franches, les ouadis que nous étudierons ci-dessous n'ont plus, bien souvent, que des cours peu marqués aux lits argileux. En pénétrant dans les formations sédimentaires des plaines de piedmont, ils se ramifient en de multiples bras jalonnés de mares argileuses. Tous ces ouadis ont des débits intermittents, limités aux tornades et vont se perdre dans les étendues sableuses de l'Est sans atteindre le Lac Tchad qu'ils rejoignaient autrefois, après avoir franchi le cordon sableux entre Ati et Koro-Toro.

4.3.1. Ouadis des plaines de piedmont du massif du Ouaddaï

Deux cours d'eau ont une particulière importance en dehors des ouadis Chao, Saoué, Am Kibi, Al Mé, Fana, Ouagat, Oum -Chalouba, Yédinga; il s'agit des ouadis Enné et Adad.

Ainsi, l'ouadi Enné, qui prend naissance à l'est de Biltine et reçoit de multiples affluents sur sa rive gauche dont l'ouadi Gimbir, a présenté à Biltine un débit maximum de 120 m^3/s en juillet 1961. Ces débits varient avec l'intensité locale des pluies et la nature des terrains constituant le bassin versant à l'endroit considéré (1) (figure 12).

---

(1) Les coefficients d'écoulement obtenus en 1961 pour une pluviométrie de 801 mm à Biltine étaient de l'ordre de :

- 8 à 10% sur un bassin à dominance de sol d'arène grossière et de sol argilo-sableux peu épais sur granite (bassin supérieur de l'ouadi Ambar, affluent de l'ouadi Enné);
- 20 à 25% sur un bassin à dominance de sol argilo-sableux des "regs".

4.3.2. Ouadis du Mortcha (Ouadis Hawach, Oum Hadjer, Chili, Saala)

Ils ont des caractéristiques identiques à celles données pour les précédents, mais l'aridité des conditions climatiques fait que les écoulements s'amenuisent rapidement vers le Nord. Des mesures effectuées sur l'ouadi Hawach pendant la saison des pluies 1959, année particulièrement pluvieuse (79,3 mm en juillet dont 56,2 mm en une seule tornade, 156,1 mm en août pour un total annuel d'environ 240 mm) ont montré un écoulement du 30 juillet au 28 août avec des intensités diverses (figure 13) (1).

4.4. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE L'ENNEDI (R.BRAQUAVAL 1957 - M.ROCHE 1958-1960)

Il est constitué par une série d'ouadis dont ceux de la face SW du massif sont affluents de l'ouadi Saala (ouadis Oroué, Nohi, Sini,...). A l'Ouest, s'observent l'ouadi N'Dou et sur la face Nord les ouadis Kordi, Horta, Dougouro, Baragué, dont l'écoulement se dirige vers la dépression du Mourdi. Comme pour les ouadis des plaines de piedmont du massif du Ouaddaï et ceux du Mortcha, ceux de l'Ennedi ont des débits intermittents limités aux tornades ou à la brève période qui leur succède. Dans cette région, les coefficients d'écoulement apparaissent considérables (5 à 38% suivant la hauteur moyenne des pluies tombées sur le bassin (16 à 172 mm)) comparés à ceux enregistrés dans le bassin du Batha (2 à 3%) ou dans celui de l'ouadi Hawach (0,18%). Ceci s'explique par des bassins versants constitués par des grès ferrugineux à faible rétention pour l'eau où les infiltrations sont peu importantes.

4.5. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU TIBESTI (M.BONNET 1960 - ORSTOM-HYDROLOGIE 1961)

Il se divise en deux bassins séparés par une ligne de hauts sommets

---

(1) Pendant la saison des pluies d'une année bien arrosée, il existe un débit constant dû à la vidange des mares (1,5 m^3/s). Le coefficient d'écoulement est faible (0,18% dans le cas considéré).

volcaniques : le bassin Iibyen et le bassin Tchadien.

Il s'agit, ici aussi, de cours d'eau très temporaires, appelés enneris qui prennent naissance sur les hauts plateaux où ils coulent dans les basaltes par des gorges encaissées. Leurs cours moyens et inférieurs, à l'inverse, sont constitués par des vallées sableuses, larges de plusieurs kilomètres où s'observent parfois des terrasses, vestiges d'anciens profils d'équilibre datant de pluviaux antérieurs. Ces cours d'eau vont se perdre dans les grès ou les sables.

4.5.1. Le bassin Tchadien

Il se décompose en 3 parties :

- Réseau de Kouar

Les principaux enneris prennent naissance dans les massifs du Toussidé, du Timi, de l'Abo.

. Enneri Woudoui, dont la nappe d'inféroflux alimente quelques palmeraies comme celle de Wour;
. enneri Zouarké qui arrose la palmeraie de Zouar.

Ils disparaissent dans les sables de l'Erg de Bilma.

- Réseau de Borkou

C'est le plus important. De direction NS, les principaux cours d'eau sont :

. les enneris Saado et Maro qui se réunissent à l'enneri Yao et vont se perdre dans la dépression désertique du Kichi-Kichi;
. divers enneris comme l'enneri Miski dont la réunion forme l'enneri Domar qui disparaît vers Ain Galaka à l'ouest de la dépression du Borkou.

Aucune palmeraie n'existe dans le réseau du Borkou, cependant le mieux arrosé de tous et dont les basses vallées offrent des paturages importants.

- Réseau du Mourdi

La dépression du Mourdi, située entre l'Erdi Ma au Nord et l'Ennedi au Sud, reçoit les cours d'eau de ces deux massifs (ouadis Dougouro, Kordi,...).

4.5.2. Le bassin Libyen

Il est composé de deux enneris principaux, d'écoulement SN :

. l'enneri Yebigué qui arrose les palmeraies de Yebbi-Bou et Yebbi-Souma et reçoit l'enneri Aozou qui traverse celles de Aozou, Tidémi, Moya;
. l'enneri Bardagué qui, dans la partie supérieure de son cours, le Zouméri, est jalonné de palmeraies (Edimpi, Ouanofou, Zoui, Bardaï,...). Il reçoit les enneris Oudingueur et Toudoufou.

5. LES NAPPES

Dans un pays au relief plat comme le Tchad et où alternent des sédiments de textures très variées, les nappes peuvent avoir une particularité importante sur les processus pédogénétiques (formations de cuirasses ferrugineuses, d'encroûtements calcaires,...; salinisation, alcalisation du sol,...).

Nous distinguerons plusieurs grandes familles de nappes dont la situation géographique correspond à celle des différentes formations sédimentaires que l'on observe au Tchad (J.ABADIE, J.BARBEAU, 1958).

5.1. REGION SUD

Dans la région sud, vont se distinguer : la nappe des Koros, la nappe des bassins alluvionnaires du Logone et Chari et des bahrs Salamat, Keïta, Aouk, la nappe du Chari-Baguirmi.

5.1.1. La nappe des Koros

Plusieurs plateaux d'âge Continental Terminal qui portent le nom de "koro" (Koro de Guidari, de Bénoye Bebalem, de Bebebdjia, de Koumra, de Kyabé) présentent une nappe à une grande profondeur, supérieure à 50 m (1).

Les puits recoupent ici des alternances de sables cuirassés, argilites, grès. La grande épaisseur notamment des niveaux d'argilite ne semble pas favoriser le maintien de nappe. Les débits de celle-ci sont particulièrement faibles. L'importance de ces nappes du Continental Terminal est cependant non négligeable, puisque MERMILLOD leur attribue 35 des 75 m3/s du débit du Logone à l'étiage. Ce sont de telles nappes que l'on voit sourdre à Gabri N'Golo de la cuirasse vacuolaire constituant la rive du fleuve en cet endroit (J.MERMILLOD 1961 a).

Entre ces plateaux, subsistent des cuvettes comme celle de Doba où les napes sont à des profondeurs analogues à celles que l'on trouve dans le bassin alluvionnaire du Logone et Chari. Souvent inondées en saison des pluies par les eaux de ruissellement, ces cuvettes peuvent se maintenir en eau, localement, une grande partie de l'année, grâce à la présence de seuils en aval (J.MERMILLOD 1961b - 1962).

Ces nappes sont peu minéralisées (Ca,Mg,K,Na) mais solubilisent des quantités importantes d'hydroxydes de fer, prélevées aux sols rouges et aux cuirasses ferrugineuses, que l'on voit réapparaître en un dépôt rougeâtre abondant dans les endroits où elles font résurgence (Déli). Ces hydroxydes de fer circulent dans le sol soit sous forme réduite ou de composés humo-ferrugineux qui reprécipitent par oxydation. Ils sont donc à l'origine d'enrichissement du sol des thalwegs en produits ferrugineux et de la formation de nouvelles cuirasses.

5.1.2. La nappe des bassins alluvionnaires du Logone et Chari et des bahrs Salamat, Keïta et Aouk.

La nappe des bassins alluvionnaires du Logone et Chari est peu profonde

(1) A Bénoye, la nappe est à 120 m, mais avec un niveau hydrostatique à 375 m .

située en saison sèche à 3-4 m, de toute façon inférieure à 10 m. Elle s'observe généralement en des puits creusés sur les alignements ou buttes sableuses qui surplombent de quelques mètres la plaine argileuse inondée en saison des pluies sous 1 à 1,50 m d'eau. De nombreuses mares semi-permanentes au Sud, permanentes au Nord (confluence Logone-Chari) subsistent dans ces yaérés. L'alimentation de cette nappe est en relation avec l'inondation et les fleuves ou défluents de ceux-ci.

La nappe du bassin des bahrs Salamat, Keïta et Aouk est nettement plus profonde, fréquemment 10 à 15 m en saison sèche comme celle observée sur les bourrelets du bahr Salamat, parfois 25 m sur les alignements sableux de la vaste dépression. Encore cette nappe est-elle peu abondante. Elle est alimentée par les précipitations et principalement par les eaux des bahrs Azoum et Salamat grossi lui-même par les bahrs Djourf et Korom qui inondent l'ensemble de la dépression, mais dont les débordements n'ont rien de comparables à ceux du Logone et Chari.

5.1.3. La nappe du Chari-Baguirmi

Elle doit son nom à la région où elle est le mieux connue, mais en fait déborde largement celle-ci. Sa profondeur moyenne est de 35 à 40 m. Elle se relève à des profondeurs de 20 m dès que l'on se rapproche du Lac Tchad, du Chari, du Batha de Laïri, du Lac Fitri,... et vers le sud des plaines d'inondation, ce qui semble confirmer les apports fournis à cette nappe par ces fleuves ou ces lacs. Elle se relève de la même façon au voisinage du massif central tchadien qui constitue lui-même un impluvium naturel.

Sous cette première nappe existent deux autres nappes :

- la première vers 130-150 m, localisée dans des intercalations sableuses, peut être alimentée par les régions Sud et qui présente des débits excellents;
- la seconde, située vers 250-300 m et qui remonte par artésianisme parfois à moins de 5 m de la surface, mais a des débits inférieurs au litre/s.

Ces différentes nappes sont peu minéralisées à l'exemple des eaux du Chari et du Logone, dont on peut estimer qu'elles tirent leur origine. Ainsi les conductivités des eaux de ces deux fleuves sont faibles : 0,04 à 0,06 millimho (25 à 40 mg/litre). La courbe de variation annuelle de salinité présente une conductivité minimum en août-septembre, au moment où s'amorce la crue, elle est au maximum en janvier (figure 14) (J.PIAS 1962 b).

L'analyse des eaux du Logone et du Chari prélevées en amont de Fort-Lamy, en octobre 1962, révèle leur faible minéralisation.

		Logone	Chari
Cations			
	Ca mé/l	0,25	0,25
	Mg mé/l	0,17	0,19
	K mé/l	0,10	0,10
	Na mé/l	0,18	0,13
Anions			
	CO_3 + CO_3H mé/l	0,52	0,44
	SO_4 mé/l	traces	traces
	Cl mé/l	traces	traces
	Conductivité en millimhos à 25°	0,054	0,048

Les eaux du Lac Fitri qui alimentent partiellement la nappe du Chari-Baguirmi, ont des conductivités faibles, légèrement supérieures à celles du Lac Tchad.

Prélèvement près du rivage	0,17 millimho	(100 mg/litre)
Eaux libres	0,14 millimho	(90 mg/litre)

5.2. REGION NORD

Au nord du 13è parallèle, vont s'observer des nappes dont certaines, à l'inverse des premières, présentent une minéralisation intense (J.PIAS 1962 a.b.c.).

- Nappes du Kanem :

elles se localisent dans la région dont elles portent le nom, soit au nord du Lac Tchad et paraissent limitées, à l'Est, par la vallée du Bahr el Ghazal. Il s'agit d'une région à relief dunaire où alternent alignements sableux orientés SE NW et dépressions appelées "ouadis" où sont toujours situés les puits. La nappe est ici à des profondeurs inférieures à 15 m, plus élevées cependant vers le Nord (30 m.). Ces profondeurs sont, par ailleurs, très diverses à l'intérieur d'un même ouadi, en même temps qu'y varie la salinité des eaux.

Dans l'ouadi de Ndiguidada

n°115)	eaux de surface	0,65*	(400 mg/l)
n°116)		13,73	(8,5 g/l)
n°117)	nappe variant de	0,25	(150 mg/l)
n°118)	30 cm à 2,50 m	4,76	(3 g/l)

* Conductivité en millimhos à 25°

Voici à titre d'exemples quelques relevés effectués dans les ouadis sur la bordure est et nord du Lac Tchad et dans le Bahr el Ghazal où les salinités sont plus homogènes et moins élevées.

Lieux de prélèvements	Profondeur de la nappe en m	Conductivité à 25° en millimhos
Région Est		
Laurom	2,00	1,70
Nord de Malloum	1,50	0,15
Entre Dum-Dum et Ndigororom	5,20	-
Pantairom	2,20	1,04
Nord de Bolosidi	1,70	19,50
	2,20	0,30
	2,30	3,30
Région Nord		
Ouest d'Isséron	0,60	1,30
	0,20	2,06
SE d'Ira	1,50	0,62
	0,80	2,20
	0,60	2,74
Ira Létiri	0,20	1,13
	0,60	0,79
	eau de surface	17,00
Kalala (SW de Mao)	eau de surface	16,60
	0,15	2,24
	0,40	0,64
	0,80	0,28
	0,95	0,45
Bahr el Ghazal		
Nord de Tagaga, début de la dépression du Bahr el Ghazal	9,00	-
Kara près de Kongotoro	5,00	1,47
Boulo	10,00	0,38
Chédra	0,60	0,59
NW de Chédra	3,20	0,84
Kouri-Kouri	20,00	0,83
Moussoro	11,50	0,74

La tableau suivant révèle la composition chimique de quelques prélèvements d'eau où domine carbonate ou sulfate de sodium, tandis que les chlorures sont peu abondants.

Origine	Conductivité à 25° en mmhos	Ca mé/l	Mg mé/l	K mé/l	Na mé/l	CO_3 mé/l	SO_4 mé/l	Cl mé/l
Région est								
Pantaïrom	1,04	1,60	1,80	1,20	9,30	9,60	traces	traces
Bolosidi	2,64	2,05	2,20	2,30	18,90	8,50	11,70	2,50
Nord de Bolosidi	3,30	2,35	3,30	2,40	30,00	18,20	16,70	3,30
Région nord								
Bol	1,70	3,60	1,80	1,10	10,30	-	-	-
Bol (eau de surface)	5,95	0,60	6,15	2,25	54,60	-	-	-
Koona	48,00	1,00	6,70	8,10	426,10	218,00	179,20	52,50

Ces différentes nappes semblent alimentées par le Lac Tchad. Elles peuvent être aussi gonflées par des précipitations plus ou moins importantes recueillies sur les bassins versants (1). Ceux-ci sont constitués par les multiples vallées interdunaires orientées NW SE. De même, des vallées ensablees sont à l'origine de nappes que l'on observe dans certains ouadis apparemment isolés au milieu des sables.

La nappe de la bordure Est du lac,semi-artésienne remonte parfois de plusieurs mètres.

La minéralisation des eaux du Lac Tchad est faible :

Eaux libres du Lac Tchad, novembre 1955	0,06 millimho (40 mg/l)
Lac au large de Bol, juin 1956	0,094 millimho (60 mg/l)
Lac, rivage de Bol, juin 1956	0,14 (2) millimho (90 mg/l)

Exceptions faites de fonds d'ouadis natronés envahis temporairement par le lac où la salinité est élevée, celle des divers bras en communication avec celui-ci est faible : 0,2 à 0,5 millimho (100 à 300 mg/l).

---

(1) Après la forte saison des pluies de 1954 (Bol 698mm) nombre d'ouadis de la bordure nord du lac furent envahis par les eaux. Le niveau du lac s'étant élevé, on parla alors de remontée de la nappe phréatique, mais au cours des années suivantes 1955-56, années de pluviométrie moyenne, le lac continua de monter, tandis que les mêmes ouadis s'asséchaient.

(2) Composition : Ca mé/l 0,6
Mg mé/l < 0,1
K mé/l 0,2
Na mé/l 0,7

On remarque à partir de ces différentes données l'augmentation progressive de la salinité des eaux du lac du Sud vers le Nord. A.BOUCHARDEAU avait émis l'hypothèse que les courbes de salinité des eaux du lac dessinaient des auréoles concentriques et croissantes de l'embouchure du Chari vers le Nord.

Sur la rive nord du lac, où sont créés des polders, on constate au cours de l'assèchement que les eaux séparées de celles du lac se concentrent fortement. Nous avons ainsi noté les conductivités suivantes en janvier et en juin 1956 :

Eaux du lac à Bol près du rivage	0,14 millimho	(90 mg/l)
Polder de Bol-Berin en cours d'assèchement	0,55 millimho	(400 mg/l)
Polder de Bol-Guini en fin d'assèchement en divers endroits	1,75 millimho	(1 g/l)
	3,96 millimhos	(2,4 g/l)
	5,95 millimhos	(3,6 g/l)

5.3. REGION EST

La région est du Tchad, du Bahr el Ghazal jusqu'au massif du Ouaddaï est caractérisée par une nappe profonde, la nappe des "saniés", qui se situe vers 50 à 70 m. Le paysage est ici fait d'ondulations orientées NS, plus modestes que celles de la bordure du lac. Cette nappe semble s'enfoncer vers le Nord où elle se retrouve à 80-90 m dans la dépression du Adad, tandis qu'au Sud et vers l'Est, elle se relève soit au contact du fleuve Batha et de ses anciens bras (10 à 15 m), soit au voisinage des massifs. Elle disparaît à l'Ouest ou bien se confond avec la nappe profonde du Bahr el Ghazal. Son débit est lié à l'écoulement des cours d'eau en provenance du Ouaddaï. Ceux-ci alimentent des dépressions argileuses en eau quelques mois de l'année seulement, mais ne rejoignent aucun lac permanent à l'exception du Batha. Ces cours d'eau vont souvent donner naissance à des nappes d'inferoflux dans les lits anciens ou se perdre comme la Bitéa au cours de la traversée de région sableuse.

La minéralisation des eaux de cette région, si elle est peu étudiée, semble cependant faible. Pour en donner une idée, rappelons les faibles salinités des eaux du lac Fitri, dont le Batha est le principal tributaire (100 mg/l).

Des nappes superficielles non permanentes subsistent quelques mois après la saison des pluies dans le lit des cours d'eau actuels à de plus faibles profondours. De même existent, vers l'Ouest, dans les dépressions où vont se perdre ces ouadis, des marécages de courte durée qui ont cependant une importance considérable sur la vie pastorale de cette région.

5.4. NAPPES DU BORKOU-ENNEDI-TIBESTI

Il existe fréquemment, sinon de façon permanente, une nappe aquifère dans le cours des enneris de ces régions dont les lits sont, le plus souvent, sableux et l'écoulement mal connu, limité à de très brèves périodes qui ne se répètent pas forcément chaque année. Ces nappes d'inféroflux. vont faire leur réapparition en surface, à la faveur de dépressions ou de seuils rocheux dans le lit des cours d'eau. Ces lieux, connus depuis fort longtemps, ont été généralement exploités par l'homme et ont permis l'implantation de palmeraies.

La nappe de ces régions semble subir une variation annuelle. Son niveau s'abaisserait en saison chaude pour se relever en saison fraîche. Elle paraît alimentée par les précipitations qui tombent sur les versants des massifs (30 mm par an au pied, 100 à 120 mm pour les hauts-plateaux du versant méridional le plus arrosé).

Dans le Borkou, la nappe superficielle qui sert à l'irrigation des cultures céréalières ou maraîchères est à faible profondeur, située entre 1 et 2 m et légèrement en charge. Elle remonte dès que l'on a traversé le niveau diatomitique et atteint le sable sous-jacent. Cette nappe a un faible débit et est rapidement tarie par le puisage lors de l'irrigation.

Des eaux sourdent parfois aussi en surface, généralement à la faveur d'élévations de terrain (source d'Ain-Galaka) mais aussi également dans un relief plan (source de Mao près de Largeau). Il semble que dans ce cas, il y ait une relation étroite entre la nappe artésienne trouvée lors de forages profonds et ces sources et que ces résurgences se font grâce au substratum de grès très faillé, ce que tend à prouver la comparaison analytique de l'eau du forage et de celle des sources.

Toutes ces eaux, à quelques exceptions près, sont peu minéralisées. Les conductivités sont, le plus souvent, inférieures à 1 millimho (600 mg/l) et même à 0,5 millimho (300 mg/l). Les sources ont des conductivités encore plus faibles : 0,1 à 0,2 millimho (60 à 120 mg/l) (J.PIAS, P.POISOT 1962).

Origine	Source Ain-Galaka	Largeau forage	Palmeraie de Largeau	Palmeraie Amoul	Palmeraie Elleboye
Profondeur de la nappe en cm			60	110	60
Ca mé/l	0,50	0,10	1,20	1,85	0,60
Mg mé/l	0,50	0,30	0,10	1,20	0,30
K mé/l	0,15	0,20	0,90	2,75	1,45
Na mé/l	0,65	0,34	1,60	8,70	6,25
Conductivité à 25° en millimhos	0,16	0,10	0,34	0,93	0,55

II - LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

1. INTRODUCTION

La majeure partie de la cuvette tchadienne, peu étudiée, était cartographiée encore tout récemment par les géologues en terrains tertiaires et quaternaires (G.GERARD 1958). Les sédiments qui la composent résultent de l'accumulation de matériaux détritiques de granulométrie variable apportés par les fleuves, les rivières provenant des massifs :

- de l'Adamaoua (granites) au Sud,
- du Tibesti (roches éruptives et granites) au Nord,
- du Ouaddaï (granites) à l'Est,
- de Guéra-Mongo-Abou Déia (granites) au Centre.

Ce sont surtout les terrains sédimentaires anciens de l'arrière-pays, érodés et transportés, qui sont à l'origine des alluvions (grès primaires du Borkou-Tibesti, de l'Ennedi, du Ouaddaï - formation continentale terminale du Borkou, du sud du Tchad).

Le Lac Tchad, enfin, par ses transgressions plus ou moins récentes, explique nombre de dépôts argileux observés dans l'intérieur des terres, très loin des rivages actuels.

La sédimentation éolienne est elle-même à l'origine de dépôts, tandis que les vents ont remanié des formations sableuses fluviatiles pour donner le paysage dunaire fréquent dans les régions nord.

L'immense fosse tchadienne est donc le domaine de formations sédimentaires relativement récentes où alternent sables et argiles sur de grandes épaisseurs. L'épaisseur de ce sédimentaire est variable. Peu profond au voisinage des massifs (1), il atteint et dépasse 400 m au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ceux-ci (2). J.BARBEAU (1956 a) schématise ainsi la succession des sédimentations observées au-dessus du socle granitique dans la région est et NE de Fort-Lamy :

- une série à dominance argileuse d'une dizaine de mètres d'épaisseur au contact du socle;

---

(1) Au Nord-Cameroun, à l'ouest de Mindif : Gadgia socle à 14 m; Gouma socle à 20 m; Daram socle à 21 m; Gagadjé socle à 17 m.

(2) J.BARBEAU (1956 a) : HP 8 sud du massif de Gara-Andébé socle à 151 m;
HP 9 Abou Hidjelidj socle à 260 m;
HP 12 Am Tanya (SE de Massaguet) socle à 311 m;
HP 6 Bokoyo (SE de Fort-Lamy) socle non atteint, profondeur du sondage : 366 m.

- une série à dominance sableuse d'environ 50 m;
- une série à dominance argileuse de 150 à 200 m;
- une série à dominance sableuse de 50 à 60 m, qui affleure en surface sous forme de "naga", de sable ou d'alluvions récentes.

Mais la complexité est plus grande et nous donnerons ici comme exemple de celle-ci la coupe de deux sondages effectués dans la région de Fort-Lamy (J.FLANDRIN 1949).

Trypano n°4		Chagoua n°1	
0 à 5 m	argile marron et sable	0 à 1,5 m	argile et sable
5 à 19 m	sable blanc puis jaune	1,5 à 46,4 m	sable pressé vert-bleu blanc-jaune et enfin blanc
19 à 26,65 m	marne sableuse jaune		
26,65 à 43,30 m	sable blanc		
43,30 à 46 m	marne sableuse jaune	46,4 à 52,60 m	sable marneux blanc puis jaune
46 à 52 m	sable pressé blanc		
52 à 58 m	marne très sableuse	52,6 à 56,8 m	marne sableuse jaune
58 à 79,30 m	marne jaune gris-blanc et enfin grise	56,8 à 62,50 m	marne avec latérite
		62,5 à 86,50 m	marne sableuse jaune
79,30 à 82,50 m	marne grise et latérite	86,5 à 89 m	marne jaune et grise
82,50 à 123 m	marne gris-noir vert-noir et enfin verte.	89 à 95 m	marne grise

Les géologues voient dans ces formations sédimentaires une répétition de celles du "Chad Group" de Nigéria.

Ces deux sondages ne reflètent encore qu'imparfaitement l'extrême complexité des dernières sédimentations, dont voici un exemple. Il s'agit d'un profil de puits observé près de Fort-Lamy :

0 - 80 cm : argile noire
80 - 160 cm : sable tacheté, rouille, très compact
160 - 260 cm : argile grise, à taches rouilles
260 - 270 cm : sable blanc
270 - 340 cm : argile noire, compacte.

Afin d'étudier ces sédimentations récentes qui intéressent particulièrement le pédologue, nous avons donc été amené à observer les puits des régions parcourues, tandis que d'autres observations nous étaient permises par les berges des fleuves, les fosses pédologiques ...

Nous n'étudierons dans cet ouvrage que les formations sédimentaires observées en surface ou à faible profondeur et donnant naissance à des sols. Nous chercherons à dégager l'ordre stratigraphique de ces alluvions et à en fixer l'âge.

2. STRATIGRAPHIE TCHADIENNE

Les grandes lignes stratigraphiques de la géologie tchadienne sont relativement bien connues par les études de GARDE, FREYDENBERG, TILHO, LACROIX, CARRIER, GROSSARD, DENAEYER, FRITEL, DALLONI, SANDFORD, BABET, MONOD, DESIO, LELUBRE, ROCH et, à partir de 1948, par celles du Service Géologique de l'A.E.F. qui a entrepris le lever de la carte aux 1/1 000 000 et 1/500 000 auquel ont collaboré ABADIE, BARBEAU, HUDELEY, MERMILLOD, SONET, VINCENT, WACRENIER ...

D'après J.L. MESTRAUD (1958), nous pouvons distinguer (fig.15) :

2.1. LES FORMATIONS PRECAMBRIENNES

Elles sont trouvées au Tibesti, dans le sud de l'Ennedi, le Ouaddaï, le sud Batha, le Salamat, le Mayo Kebbi et aussi sous forme d'inselberge qui percent le recouvrement sédimentaire (Chari-Baguirmi et ouest Batha).

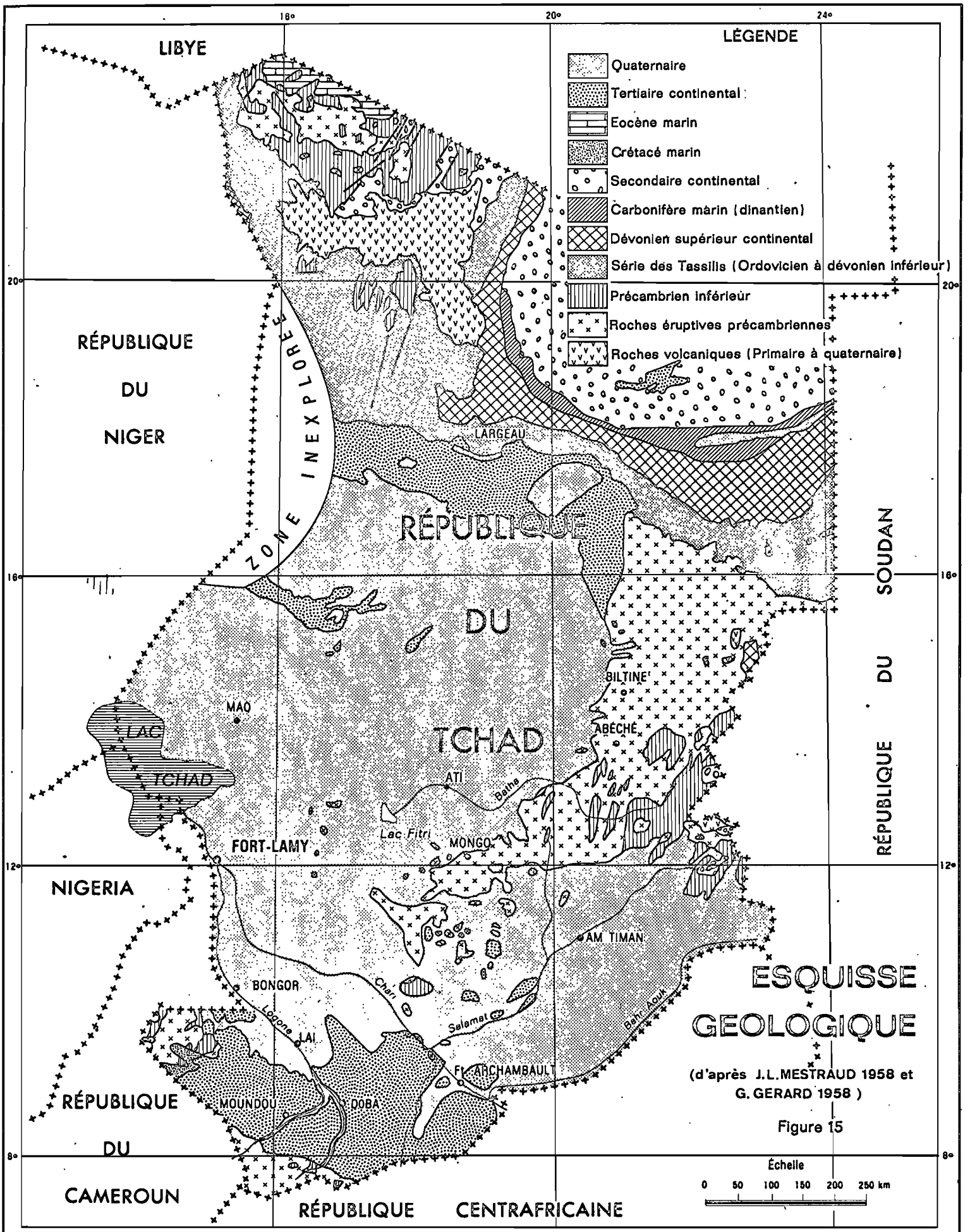
Dans le Mayo-Kebbi, le Précambrien inférieur (1) est constitué par des granites concordants et des séries métamorphiques (gneiss, amphibolites, micaschistes et roches basiques partiellement recristallisées et des schistes peu métamorphisés).

Depuis le Salamat jusqu'en Ennedi, en passant par le Ouaddaï, s'observent des granites concordants hétérogènes et orientés qui sont dominants, tandis que granites discordants, roches à faciès malgachitique (Salamat), enclaves de séries cristallophyliennes (phyllades, ardoises, micaschistes, cipolins, quartzites, gneiss, migmatites) sont peu abondants.

Au Tibesti, le Précambrien inférieur est représenté par deux ensembles séparés par une discordance :

- un ensemble inférieur très métamorphique, observé au NE (amphibolites, pyroxénites, cipolins, gneiss, leptynites, quartzites, roches volcaniques recristallisées). Il est traversé par de petits massifs de granites concordants à composition calco-alcaline à granodioritique.
- un ensemble supérieur qui débute par un conglomérat d'une centaine de mètres (galets de granite, amphibolites, cipolins, quartzites, gneiss à ciment gréseux); puis viennent des arkoses, des grès avec niveaux de phyllades,

(1) Il n'a pas été observé au Tchad de Précambrien moyen ou supérieur, bien représentés dans le sud de l'ancienne A.E.F.


LÉGENDE
Quaternaire
Tertiaire continental
Eocène marin
Crétacé marin
Secondaire continental
Carbonifère marin (dinantien)
Dévonien supérieur continental
Série des Tassilis (Ordovicien à dévonien inférieur)
Précambrien inférieur
Roches éruptives précambriennes
Roches volcaniques (Primaire à quaternaire)
LIBYE
RÉPUBLIQUE DU NIGER
ZONE INEXPLOREE
LARGEAU
RÉPUBLIQUE DU TCHAD
RÉPUBLIQUE DU SOUDAN
BILTINE
ABÉCHÉ
MAO
LAC TCHAD
ATI
Batha
Lac Fitri
MONGO
FORT-LAMY
NIGERIA
AM TIMAN
BONGOR
Chari
Logone
LAI
Salamat
Bahr Aouk
FT ARCHAMBAULT
MOUNDOU
DOBA
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
ESQUISSE GEOLOGIQUE
(d'après J.L.MESTRAUD 1958 et G. GERARD 1958)
Figure 15
Échelle
0 50 100 150 200 250 km
16°
20°
24°
8°
12°
16°
20°

de calcaires, de rhyolite et de lave basique. L'ensemble est peu métamorphisé; seulement s'observent quelques recristallisations de séricite, parfois de chlorite et d'épidote.

Ces formations précambriennes sont fortement plissées suivant un axe S.SW, N.NE. Elles ont subi une orogenèse plus violente dans la partie nord qu'au sud du Tchad.

2.2. LES FORMATIONS PRIMAIRES

Elles couvrent une vaste surface dans la partie nord du Tchad et constituent le massif de l'Ennedi, les contreforts du Tibesti, affleurant çà et là dans le nord du massif du Ouaddaï.

Ces formations paléozoïques reposent sur le socle. Il s'agit de puissantes séries essentiellement gréseuses avec toutefois quelques intercalations calcaires au sommet.

L'échelle stratigraphique suivante a pu être établie des terrains les plus anciens aux plus récents:

- grès inférieurs d'âge ordovicien (présence de bilobites) à sédimentation oblique qui reposent en discordance sur le Précambrien. Assez grossiers, ils présentent vers leur base des niveaux arkosiques et conglomératiques. Ils forment une falaise analogue à celle du Tassili interne du Sahara;

- gres moyens, plus tendres que les précédents, parfois psammitiques, d'âge silurien, caractérisé par la présence d'Harlania;

- grès supérieurs du Dévonien inférieur également à Harlania, formant une falaise analogue à celle du Tassili externe du Sahara. Ils sont assez semblables aux grès inférieurs, très massifs, grossiers, à cailloutis de quartz;

- grès à plantes à faciès continentaux, d'âge dévonien moyen et supérieur constituant une large bande qui s'étale de l'Ennedi à la Libye. Il s'agit de grès en plaquettes psammitiques ou ferrugineux (Dévonien moyen), recouverts de grès massifs, ferrugineux (Dévonien supérieur) que l'on observe en lambeaux, dans le nord du massif du Ouaddaï;

- le Carbonifère affleure en arc de cercle. Il est constitué de grès ferrugineux alternant avec des calcaires bleutés et des marnes vertes et roses.

Ces formations ont subi des plissements de grande amplitude. De grandes failles S SW, N NE marquent les effets d'une tectonique d'effondrement.

Tous ces grès sont très fracturés. Dans les fissures verticales ou subverticales, s'observent des amas ferrugineux noirâtres qui émergent et que l'érosion n'a pas toujours réussi à enlever complètement.

2.3. LES FORMATIONS SECONDAIRES

Elles sont reprèsentées au Tchad par des séries distinctes :

- marines dans le Mayo Kebbi;

- continentales dans l'ost du Ouaddaï, le nord de l'Ennedi et les Erdis, le nord du Tibesti.

- Dans le sud du Tchad, on distingue :

  . la série de Léré du Crétacé inférieur formant un synclinal orienté EW de 150 à 200 m d'épaisseur en discordance sur le Précambrien. Elle est constituée de conglomérats, grès grossiers plus ou moins arkosiques, grès fins, marnes schisteuses verdâtres à niveaux calcaires et graveleux à Estheria et Cypris. S'observent aussi des végétaux, tels : Pagiophyllum crassifolium, Frenelopsis hohenggeri (E.ROCH 1953). Des sills doléritiques sont inclus dans cette série;

  . la série de Lamé reposant également en discordance sur le Précambrien. Epaisse de 200 m, elle est constituée de conglomérats grossiers à la base, surmontés d'arkoses, de calcaire marin à lumachelles, de grès parfois calcaires, de marnes lagunaires ou continentales. Les calcaires marins représenteraient la limite orientale de la transgression cénomanienne.

- Dans la partie est du Tchad, au Ouaddaï, des restes de tables gréseuses en discordance sur le Précambrien présentent un conglomérat à galets de quartz et quartzite lié par un ciment ferrugineux ou siliceux surmonté de grès arkosiques à intercalations de marnes.

- Au nord de l'Ennedi, la série continentale repose en discordance sur les grès primaires (plateau des Erdis). Il s'agit de grès rouges ou bruns, parfois blancs à galets de quartz également à stratifications argileuses ou marneuses rouges.

- Au nord et NE du Tibesti, des grès continentaux identiques sont en discordance sur le Précambrien ou le Primaire. Des bois silicifiés (Dadoxylon) ont permis leur datation.

2.4. LES FORMATIONS TERTIAIRES

Elles sont d'origine soit marine, soit continentale.

- Dans le nord du Tibesti, dans le Ténéré, une série marine d'âge éocène marque l'avancée d'une mer lutétienne venue du Nord qui recouvrait une partie de l'Egypte et de la Libye. Elle est caractérisée par des calcaires fossilifères, des marnes gypsifères, des grès.

- Les formations continentales appelées Continental Terminal sont abondantes sur le pourtour de la cuvette tchadienne proprement dite (sud du Tchad, pourtour du massif central tchadien, Borkou, Eguei, Ouaddaï) tandis que dans la partie centrale, elles sont recouvertes par des dépôts d'âge plus récent et quaternaires.

- Dans les parties nord et est, il s'agit de grès ou d'arkoses à ciment ferrugineux, d'argilites; sur le pourtour des massifs de Guéra, Mongo, Abou Déia ... de formations de cuirasses ferrugineuses.

- Dans la bordure sud de la cuvette tchadienne, E.ROCH (1953) décrivit le premier cette formation à laquelle il donna le nom de "sables de Kélo". Ce Continental Terminal, désigné par Ph.WACRENIER (1961) du nom de série paléotchadienne, atteint une épaisseur de 300 m et comporte, d'après cet auteur, les termes suivants :

- série paléotchadienne inférieure
  - . grès diversement colorés, souvent grossiers à différents faciès
    - grès de Pala reposant sur la série de Lamé (Cénomanien-Turonien)
      - . grossiers à la base
      - . fins, blancs, arkosiques ou à ciment ferrugineux intercalés d'argilites
      - . cuirasses ferrugineuses diverses coiffant ces grès (à galets de quartz, blocs de grès ou au contraire fines feuilletées).
    - grès et cuirasse du pourtour du massif central tchadien
    - grès en tables résiduelles et cuirasses dans le sud du Tchad (région sud de Moundou-Baibokoum)
  - . Roches schisto-gréseuses blanches violacées, plus ou moins argileuses passant à des argilites

. Sables beiges auxquels s'apparenteraient les grès de Bébo.

- Série paléotchadienne moyenne

. sables rouges
. argilites
. cuirasses

- Série paléotchadienne supérieure représentée par la succession suivante :

. argile kaolinique
. bauxite
. cuirasse ferrugineuse.

2.5. LES FORMATIONS QUATERNAIRES

Elles couvrent les parties centrales et méridionales du Tchad, grossièrement entre les 9° et 18° de latitude Nord, bordées au Sud et au Nord par les formations du Continental Terminal, à l'Est par les contreforts du massif du Ouaddaï, tandis qu'à l'Ouest, les formations quaternaires se poursuivent au Cameroun, en Nigéria et au Niger : elles ont été principalement étudiées par les géographes et géologues (Gl J.TILHO 1910-1925-1927-1928-....-1947), FREYDENBERG 1908-...., J.BARBEAU 1961, J.ABADIE, H.FRANTZ 1957 ...) et pédologues (J.PIAS, E.GUICHARD 1957, J.PIAS 1958-1960 ..., G.BOUTEYRE, J.CABOT, J.DRESCH 1964 ...), qui y ont distingué des dépôts sédimentaires d'origines fluviatile, lacustre ou éolienne.

Nous nous contenterons ici de donner seulement un aperçu sommaire de ceux-ci, puisque leurs analyses, leur classification stratigraphique est le but de cet ouvrage et qu'un chapitre leur sera particulièrement consacré lors de la reconstitution de l'histoire géologique.

Par ordre d'ancienneté, nous distinguerons :

- une série fluviatile sableuse ancienne qui tire son origine des formations du Continental Terminal au sud du 13° de latitude Nord, tandis qu'au nord de ce parallèle, elle a pour origine des formations gréseuses plus anciennes dont les séries paléozoïques sont les plus importantes.

Cette série a subi, au cours du Quaternaire, des remaniements :

1. submersions au cours de la crue des lacs, arasion par passage de forts courants lors de périodes pluviales;
2. remaniements éoliens au cours de phases arides.

- une série fluvio-lacustre ancienne argilo-sableuse à nodules

calcaires dont l'aire d'extension est considérable (bassins du Logone et Chari, de l'Aouk et du Salamat, pourtour du massif central tchadien, piedmont du massif du Ouaddaï). Il s'agit là d'une phase grossière de l'alluvionnement et les dépôts semblent s'être effectués dans de vastes lacs ou marécages communiquant ou non entre eux.

- une série fluviatile récente, plus étroitement localisée en longs couloirs orientés, constituant les bourrelets d'anciens cours d'eau qui ont morcelé les étendues lacustres précédentes. Cette série s'est créée à partir de matériaux arrachés à la série fluviatile ancienne, mais surtout aux dépens des massifs granitiques eux-mêmes. Elle forme également les îles des anciens deltas du Chari, du Bahr Erguig, du Batha de Laïri.

- une série lacustre récente, argileuse, dont l'extension plus faible que la précédente est marquée par un cordon sableux côtier haut de 10 à 20 m que l'on observe sur environ 1 000 km de Linani à Yagoua au Cameroun, de Bongor à Koro-Toro au Tchad. Ce cordon est à la cote de 310-320 m (1).

- une série actuelle à subactuelle qui constitue les bourrelets des fleuves ou de défluents plus ou moins récents. Ces bourrelets découpent l'ancienne étendue lacustre en multiples dépressions au nord de Fort-Lamy.

Un autre cordon sableux côtier marque l'extension plus récente d'un Lac Tchad plus modeste sur la côte sud de ce dernier. Sa cote est de 287-290 m, alors que le niveau actuel du lac aux hautes eaux est de 282-283 m.

A cette même cote sont trouvés des niveaux coquilliers (genres : Melania, Planorbis, Physa, Potadoma ...) sur les dunes bordant le lac au Nord et à l'Est ainsi que dans la dépression du Bahr el Ghazal qui a servi d'exutoire lors de cette transgression.

Ces extensions lacustres qui semblent en rapport avec des pluviaux ont alterné avec des phases arides au cours desquelles se sont produits des remaniements éoliens principalement visibles au nord du 13° de latitude nord mais également beaucoup plus au Sud.

Enfin, c'est au cours du Quaternaire que se serait constituée la plus grande partie du complexe volcanique du Tibesti bien que des témoins, très localisés, apparaissent antérieurs.

---

(1) Ce même cordon se retrouve en Nigéria et au Niger où il porte respectivement les appellations de Bama Ridge et cordon de Tal.

3. ROCHES ET FORMATIONS SEDIMENTAIRES (Figure 16)

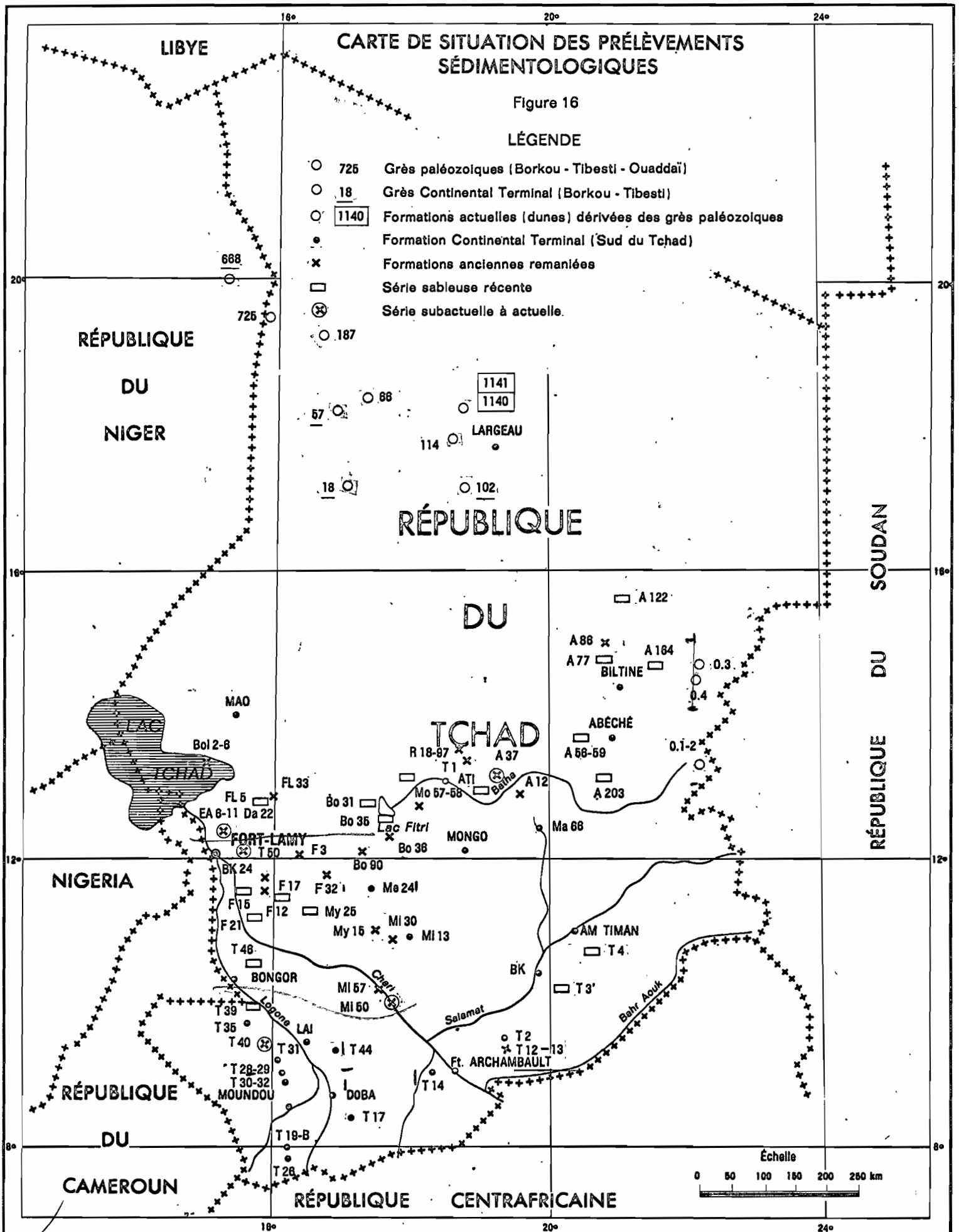
3.1. ROCHES DES FORMATIONS PRECAMBRIENNES

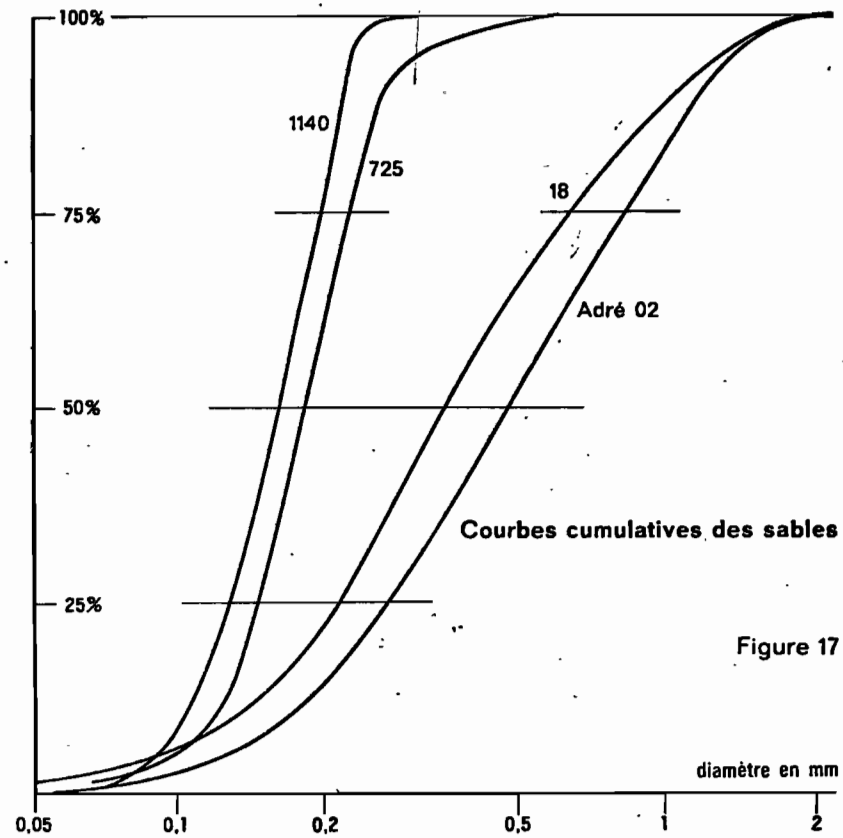
Les granites concordants les plus fréquemment observés se présentent sous divers faciès :

- granites à biotite seule ou dominante, les plus répandus. Ce sont des granites calco-alcalins à quartz, microcline, plagioclase (18 à 38% d'An), biotite, avec accessoirement : hornblende verte, sphène, apatite, zircon.
- granites à deux micas identiques, peu abondants.
- granites à biotite et amphibole; terme de passage vers les granodiorites à hornblende verte, sphène, plagioclase plus basique.
- grano-diorites : plagioclase (30% d'An), quartz, microcline, biotite, hornblende verte et sphène abondants, diopside rare, épidote et apatite (J.SONET 1963).

Les roches discordantes peu abondantes sont représentées par des granites pegmatoïdes, des granites à deux micas, des granites calco-alcalins leucocrates, des microgranites, des rhyolites, des granites aplitiques en champs filoniens ...

Les roches des séries métamorphiques, peu fréquentes, sont : soit des gneiss (R 1) "roche quartzo-feldspathique avec éléments ferromagnésiens orientés en longs fuseaux" (J.LORMAND 1951), soit des micaschistes (R 2) "bien lités, injectés de quartz filoniens où l'on reconnait aisément de la muscovite, du disthène, des grenats, parfois de la biotite ... de la magnétite" (J.BARBEAU 1956 b), soit des amphibolites (R 14 - R 15), des roches basiques, ...


CARTE DE SITUATION DES PRÉLÈVEMENTS SÉDIMENTOLOGIQUES
Figure 16
LÉGENDE
725 Grès paléozoïques (Borkou - Tibesti - Ouaddaï)
18 Grès Continental Terminal (Borkou - Tibesti)
1140 Formations actuelles (dunes) dérivées des grès paléozoïques
Formation Continental Terminal (Sud du Tchad)
Formations anciennes remaniées
Série sableuse récente
Série subactuelle à actuelle.
LIBYE
RÉPUBLIQUE DU NIGER
RÉPUBLIQUE DU TCHAD
RÉPUBLIQUE DU SOUDAN
NIGERIA
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
LAC TCHAD
LARGEAU
BILTINE
ABÉCHÉ
MAO
FORT-LAMY
MONGO
BONGOR
LAI
MOUNDOU
DOBA
AM TIMAN
Ft. ARCHAMBAULT
Lac Fitri
Batha
Chari
Logone
Salamat
Bahr Aouk
Échelle
0 50 100 150 200 250 km



Courbes cumulatives des sables

Figure 17

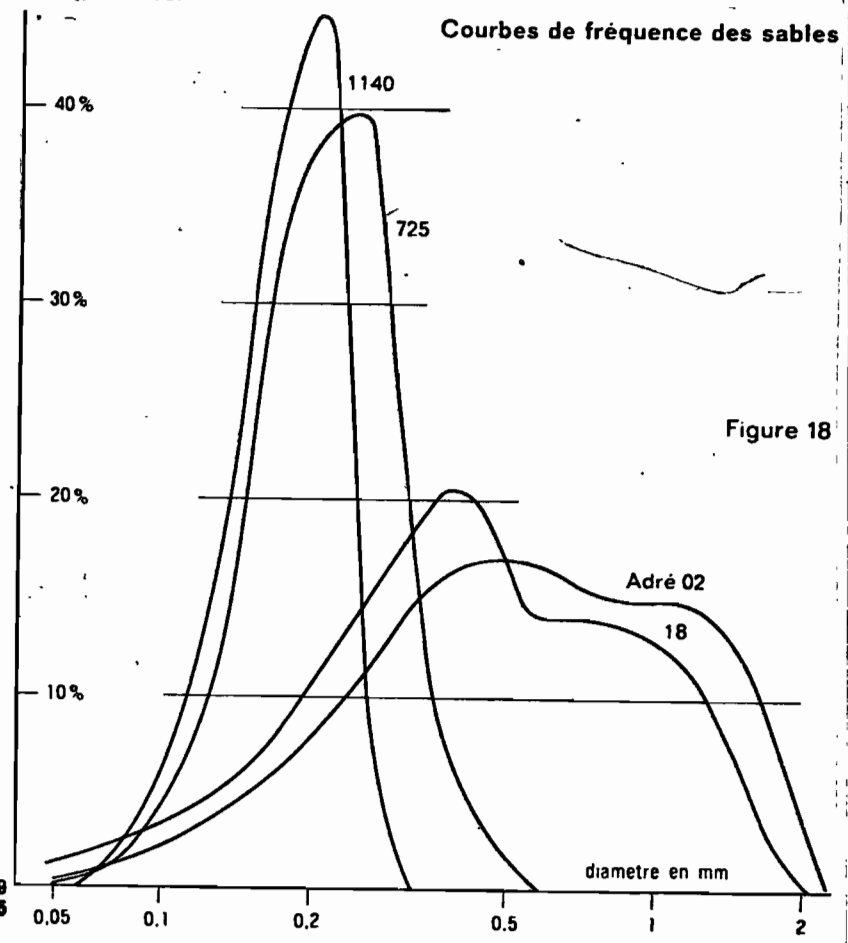


Figure 18

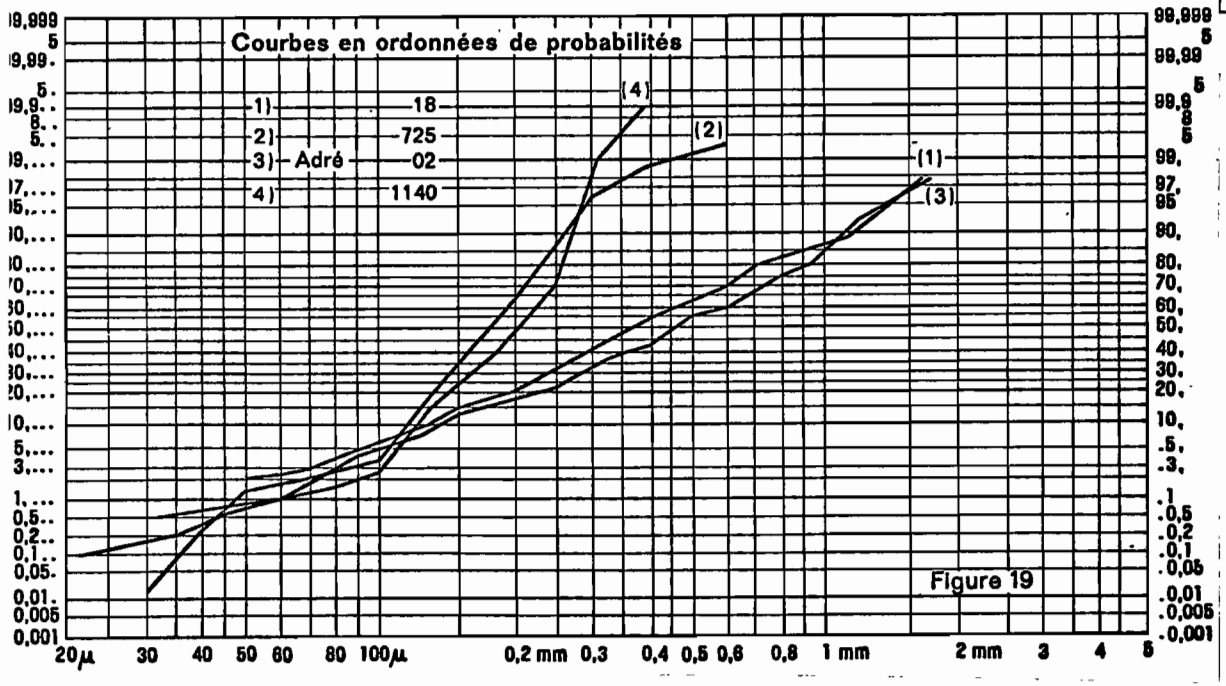


Figure 19

— Gres paleozoiques

Borkou – Tibesti n° 725

Ouaddaï n° Adre 02

— Gres du Continental terminal

Borkou – Tibesti n° 18

— Formations dérivées

(barkhanes) n 1140

Analyse totale	R 14	R 15	gneiss (R 1)	micaschiste (R 2)
Perte au feu %	1,98	1,58	1,20	4,5
Quartz et silice des silicates %	49,23	46,00	71,09	64,20
Al_2O_3 %	16,79	11,45	12,66	14,70
Fe_2O_3 %	10,31	19,05	3,47	8,70
TiO_2 %	0,94	2,09	0,32	0,55
CaO %	11,77	11,41	4,62	1,70
MgO %	6,70	5,69	0,45	0,90
K_2O %	0,44	1,32	0,99	1,20
Na_2O %	1,89	1,49	3,40	1,90
P_2O_5 %	0,14	0,16	0,13	0,14

3.2. GRES PALEOZOIQUES ET CONTINENTAL TERMINAL (REGIONS NORD ET EST)

Tableaux 1, 2, 3, 4 en annexe.

Différents grès provenant du nord du Tchad (Borkou, Tibesti), de l'Est (massif du Ouaddaï) ont fait l'objet d'analyses sédimentologiques puisque leur démantèlement total ou partiel apparaît à l'origine de certaines séries sédimentaires étudiées par la suite. Il s'agit en général de grès plus ou moins fins à ciment siliceux ou ferrugineux passant à des grès arkosiques ou des arkoses avec présence de feldspaths alcalins parfois en assez forte proportion, 20 à 30%. Les grains de quartz ont subi assez souvent des recristallisations de silice qui masquent leur forme primitive.

Les grès, les arkoses sont à grains moyens ou très grossiers. Les termes les plus grossiers à galets roulés prennent un aspect conglomératique. Leur coloration est très variée : claire (beige ou blanchâtre 10 YR 7/1 - 7,5 YR 8/4 ...) à foncé (rouge violacé 7,5 R 4/4 - 7,5 R 6/2 ...) Ils sont intercalés de lits d'argilites souvent très colorées (échantillon Adré 01 : 7,5 R 6/2) diversement riches en éléments colloïdaux, limon et sables fins.

Les échantillons analysés ne représentent que quelques exemples dans une gamme à faciès apparamment très variée.

Les figures 17, 18, 19 donnent les faciès de différentes courbes

cumulatives de sables en coordonnées semi-logarithmiques et de probabilité ainsi que les faciès de courbes de fréquence.

3.2.1. Grès paléozoïques

Borkou-Tibesti

Ils ont des caractéristiques communes qui les rapprochent fortement.

- Une hétérométrie voisine, comprise entre 0,27 et 0,37 (sédiments très bien à bien triés).
- Un indice de Krumbein voisin de l'hétérométrie (0,27 à 0,42).
- Une distribution des courbes cumulatives à faciès tendant vers un type logarithmique qui indique des sédiments en fin d'évolution.
- Un indice d'usure faible compris entre 0,020 et 0,184 qui dénote des transports peu importants.
- Des courbes de fréquences d'apparence identique qui feraient de ces sédiments des dépôts de plages. Les courbes en ordonnées gaussiennes sont assez fortement redressées et montrent une assymétrie pour la fraction la plus fine.
- Une prédominance de minéraux lourds ubiquistes (zircon, tournaline, rutile). On notera cependant la présence d'hypersthène dans l'échantillon 66 qui dénonce des apports d'origine volcanique et laisse soupçonner un remaniement récent.

Ces grès diffèrent les uns des autres par leur grossièreté (médiane variant entre 0,13 et 0,44 mm).

Ouaddaï

Ils ont été reconnus par divers auteurs et donnés comme d'âge crétacé par le Capitaine ARNAUD et LEMOIGNE, paléozoïques par DENAEYER, crétacé supérieur par GSELL, SONET, puis DELANY à Adré devaient découvrir des fossiles (Harlania) montrant leur origine primaire (GSELL-SONET 1960).

Les différents échantillons analysés présentent les caractères énoncés ci-dessous :

- la moyenne des grains est variable, allant de fine à grossière (0,11 à 0,47 mm).

- L'hétérométrie est diverse et les sédiments sont très mal ou très bien triés (1,19 à 0,25).
- Les écarts entre l'hétérométrie et l'indice de Krumbein sont nuls ou faibles.
- Les courbes cumulatives sont à faciès légèrement bi-modal, souvent étalées sur l'axe des abscisses, tandis que les courbes de fréquence sont à plusieurs sommets et les courbes en ordonnées gaussiennes à pente assez faible.
- Les minéraux lourds sont principalement des ubiquistes (tourmaline, zircon, rutile) auxquels s'ajoutent : épidote (0 à 7%) zoïsite (0 à 6%) sillimanite, disthène et biotite, cette dernière atteignant 20% dans l'échantillon Gélafara.
- L'indice d'usure est assez élevé (0,280 à 0,332) et les sables éolisés en proportion déjà notable (8 à 34%). Certains quartz ont été repris postérieurement par les eaux (Adré 02).

C'est en se fondant sur leur aspect morphoscopique que GSELL (1953 b) leur attribue une origine crétacée, car aucun des grès primaires qu'il a analysés ne présentait de traces d'éolisation. Les observations que nous avons pu faire confirment cette idée. Il semblerait donc que ces formations paléozoïques aient été remaniées après leur dépôt, ceci lors d'une période aride plus ou moins ancienne.

3.2.2. Grès du Continental Terminal

Ils ont été prélevés sur le pourtour du massif de grès primaires dans le domaine des formations continentales terminales qui les ceinturent. Là encore, leurs caractéristiques sont les suivantes :

- écart entre l'hétérométrie (0,47 à 0,71) et l'indice de Krumbein (0,73 à 0,94) souvent élevé (0,09 à 0,44). Le faciès des courbes de type bi-modal indique le mélange de stocks sédimentaires différents.
- Grossièreté moyenne à très élevée (Méd. 0,28 à 1,20 mm).
- Courbes cumulatives, courbes de fréquence, courbes en ordonnées gaussiennes identiques à celles observées pour le Ouaddaï.
- Indice d'usure variable parfois très élevé (0,096 à 0,536). Des traces d'éolisation sont visibles dans deux échantillons et les grains éolisés ont été repris postérieurement par les eaux.
- Présence dans certains cas en plus d'ubiquistes (zircon, tourmaline, rutile) de biotite (24%) et d'augite (échantillon 57). Cette dernière marque l'apparition d'un volcanisme sans doute récent.

Nous avons adjoint volontairement à ces différents grès deux échantillons de sable prélevés à une dune en mouvement (barkhane), haute de 4 à 5 m. L'échantillon Ti 1140 a été pris au sommet, le Ti 1141 à la base de la dune. Il s'agit d'une formation sableuse très fortement éolisée (indice d'usure élevé 0,732-0,660), très bien triée, de faible grossièreté (médiane 0,168-0,176 mm). Les courbes cumulatives sont à faciès logarithmique, les courbes de fréquence très redressées. Une partie importante des quartz sphériques est brillante, indiquant une reprise par les eaux.

Ces sables, qui proviennent de la désagrégation des grès primaires, ont donc subi une ou plusieurs éolisations suivies d'une reprise récente par les eaux.

Ils sont actuellement dans une nouvelle phase d'éolisation. Parmi les minéraux lourds, on notera la présence d'augite (26-28%) peu ou pas observée dans les grès primaires ou Continental terminal, qui indique une origine volcanique récente d'une partie des minéraux lourds.

Tout ceci confirme l'idée de l'extrême difficulté qu'il y a à définir l'âge et le passé de ces grès ou des formations sédimentaires qui en dérivent.

3.3. FORMATIONS CONTINENTALES TERMINALES. (REGION SUD ET MASSIF CENTRAL TCHADIEN)

Ces formations d'une épaisseur de 300 à 700 m sont extrêmement variées et se présentent sous forme de grès ou de sables de texture diverse intercalés de bancs d'argilites plus ou moins finement sableuses qui laissent supposer que nous nous trouvons en présence de plusieurs cycles de sédimentation.

Nous prendrons comme exemple le site de Koro (9°07 de latitude Nord, 16°40 de longitude Est, à 18 km de Guidari) où les différentes séries du Continental Terminal sont observées.

La région de Koro se présente sous la forme d'un petit cirque de hauteurs entourant le village et le dominant de 30 à 40m. Ces collines sont assez fortement démantelées. L'examen de la coupe d'une d'entre elles et de puits situés en contrebas montre les successions suivantes (fig.20).

- Série paléotchadienne supérieure (Pa_3).

1. Cuirasse ferrugineuse très superficielle de couleur brun-rouille qui prend parfois un aspect conglomératique, englobant des galets de quartz et des blocs de bauxite.
2. Bauxite à structure oolithique lâche et peu développée, de couleur saumon ou blanc rosé. L'épaisseur de la bauxite surmontée de la cuirasse ferrugineuse atteint une dizaine de mètres.

Ouest

Coupe schématique de Djoro Galiti à Koro
d'après Ph. Wacrenier (1961)

Est

Figure 20

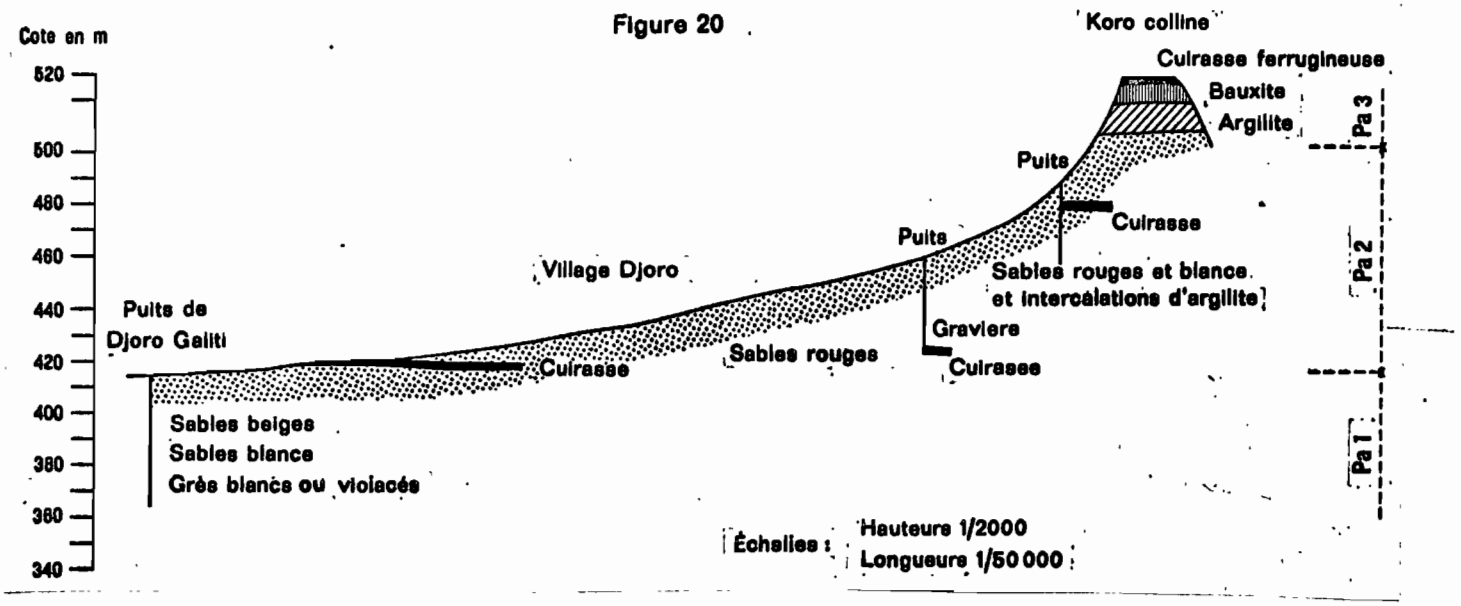


Table d'argilite et de grès résiduelle couronnée par une cuirasse ferrugineuse

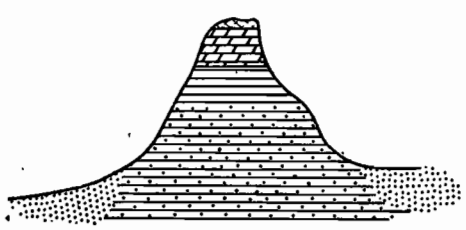


Figure 21 a

Butte témoin de sol rouge ennoyant un inselberg granitique.

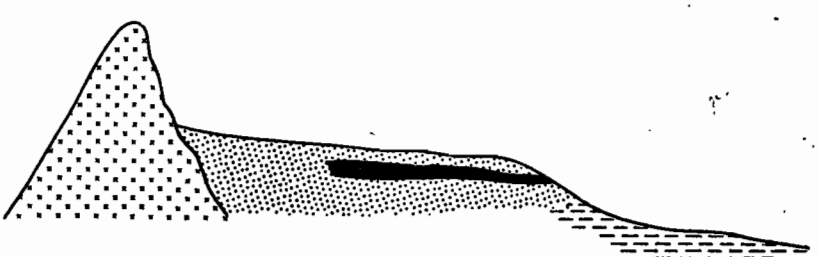
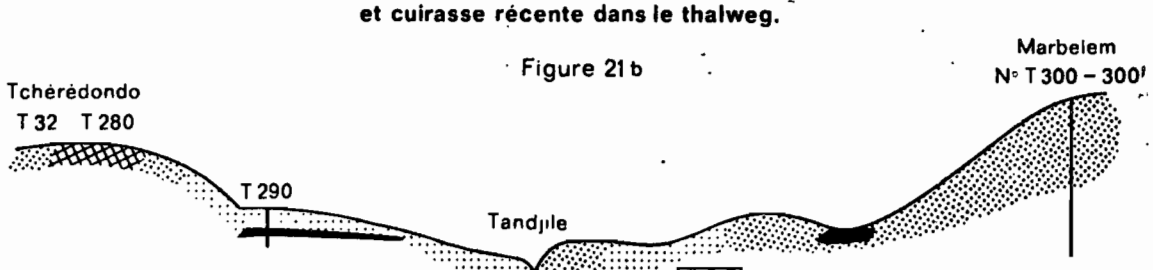


Figure 21 c

Plateau de sol rouge (" Koro ") entaillé par une vallée avec cuirasse ancienne de plateau et cuirasse récente dans le thalweg.

Figure 21 b



Buttes témoins de sol rouge ennoyées dans des sédiments plus récents.



Figure 21 d

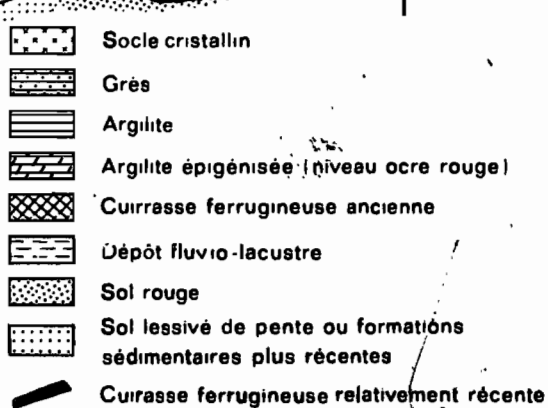
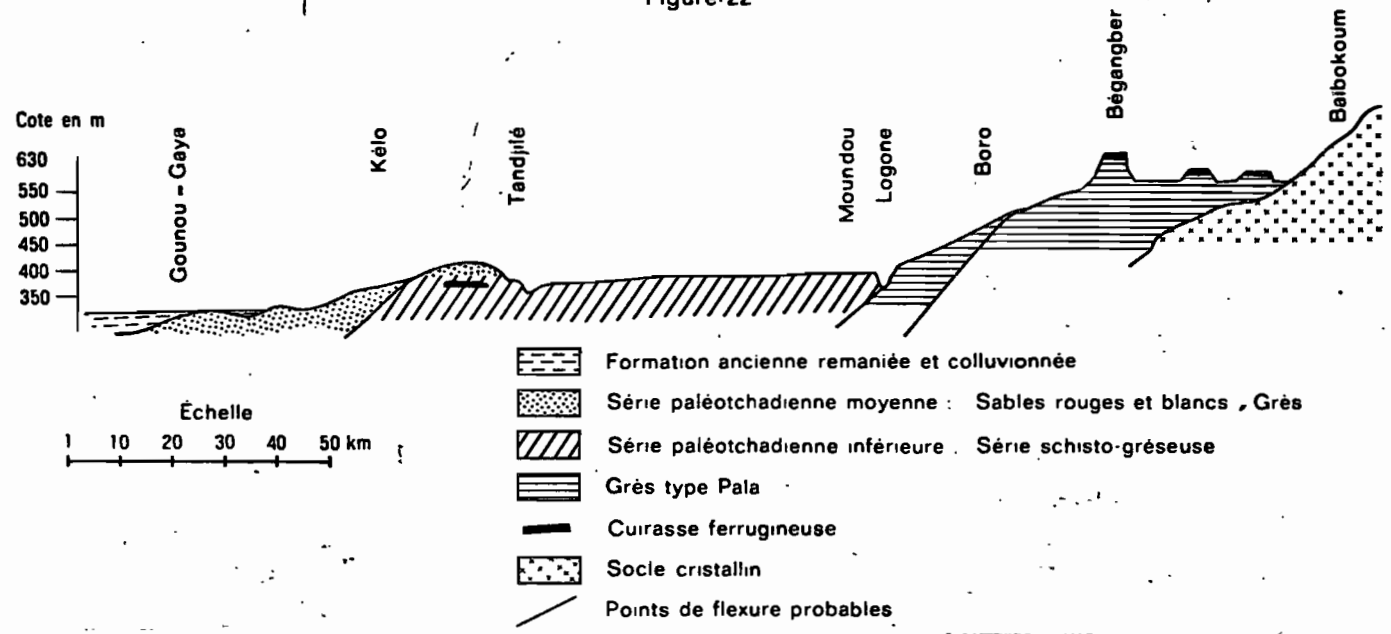
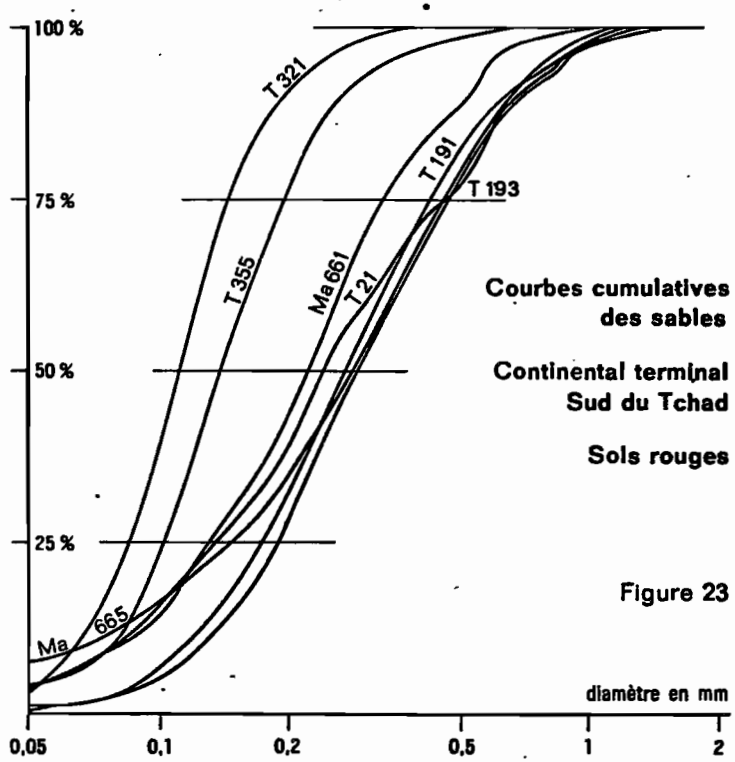


Figure 21

Coupe schématique Baïbokoum - Gounou Gaya.

Figure 22



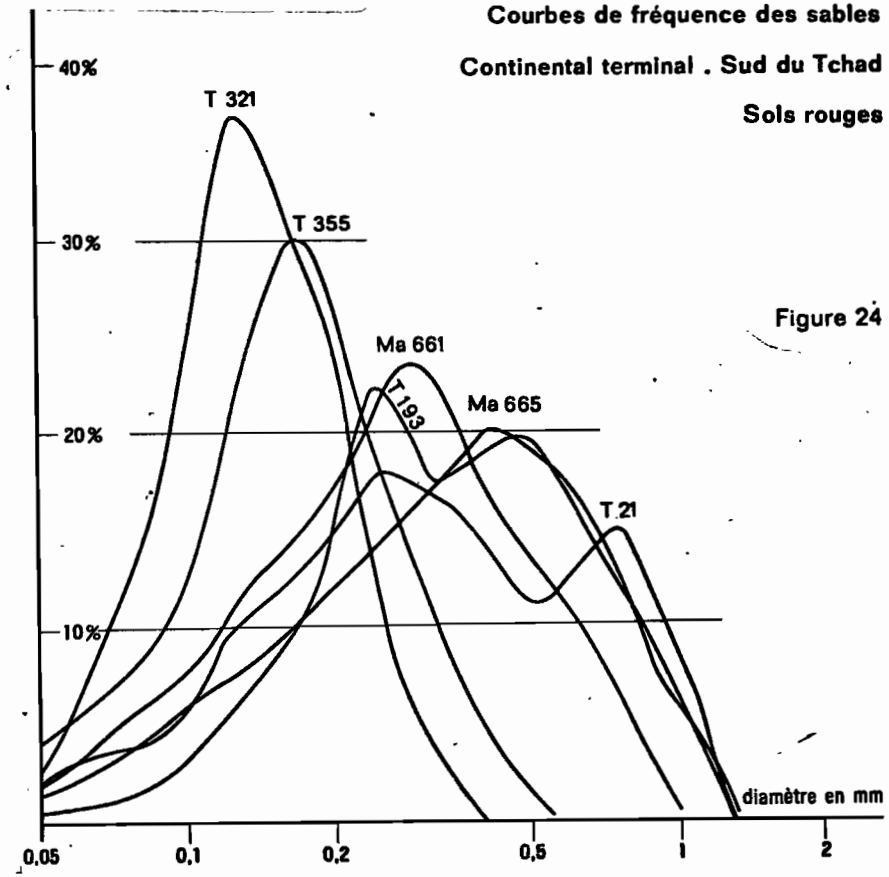


Courbes cumulatives des sables

Continental terminal Sud du Tchad

Sols rouges

Figure 23



Courbes de fréquence des sables

Continental terminal . Sud du Tchad

Sols rouges

Figure 24

3. Argile blanche feuilletée sur 10 à 15 m environ.

- Série paléotchadienne moyenne (Pa_2).

4. Sables rouges contenant des lentilles de kaolin.

Près de cet affleurement, très en contrebas (altitude voisine de 420 m) les puits des villages de Djoro offrent la succession suivante sur une cinquantaine de mètres.

- Série paléotchadienne moyenne (Pa_2).

1. Sables rouges alternant avec des litages de sables blancs.
2. Horizon gravillonnaire ferrugineux dans les sables rouges.
3. Zone argileuse tachetée, violette, blanche, jaune et rouge.

- Série paléotchadienne inférieure (Pa_1).

4. Grès blanc jaunâtre friable.
5. Roche schisto-gréseuse feuilletée, blanche, rosée, violacée, compacte.
6. Grès violet très compact.

La roche schisto-gréseuse (5) présente des faciès divers, allant d'éléments blancs peu argileux, plus ou moins rosés ou violacés, à des éléments très argileux. Cette couche est étroitement associée au grès; elle forme une série intercalaire entre deux séries gréseuses, et semble avoir une origine lacustre indéniable.

Le faciès des grès (6) est aussi variable :

- grès fin, rouge-violacé avec peu de quartz apparent;
- grès ocre grossier, riche en quartz rubéfié friable;
- grès grossier, violet, compact, bien cimenté;
- grès alvéolaire brun avec silice recristallisée sur les parois des alvéoles;
- grès très grossier à cailloutis ou galets quartzeux roulés.

Les trois séries ne sont observées ainsi ensemble qu'au seul site de Koro. Partout ailleurs, le Continental Terminal sera tronqué, soit de sa série supérieure, soit de ses séries supérieure et moyenne. Au contact du socle, dans la partie la plus méridionale du Tchad ou en certaines régions (Pala), nous n'observerons plus que les formations les plus anciennes : grès grossiers entrecoupés de passées d'argilites. Celles-ci ont souvent été préservées de l'érosion grâce à des cuirasses ferrugineuses qui les couronnent. De telles cuirasses peuvent se trouver également à différentes profondeurs dans les sédiments, ainsi que nous le voyons sur la figure 20 présentant la coupe du site de Koro.

3.3.1. Série paléotchadienne supérieure

C'est la partie terminale que nous avons décrite ci-dessus. Elle est caractérisée par la cuirasse ferrugineuse, la bauxite et les argilites sous-jacentes.

La croûte ferrugineuse contient 80% environ de goethite, peu ou pas d'alumine, tandis que la bauxite est riche en gibbsite avec un peu de boehmite (80 à 85%) - Echantillons 440-441 (1).

Les argilites blanches feuilletées sont de nature kaolinique (90% de kaolinite, 5% de goethite, peu de quartz) et la courbe cumulative des sédiments présente un faciès hyperbolique caractéristique de sédiments déposés par décantation, donc d'origine lacustre - Echantillon T 443 (fig. 29).

Argilites (Koro-Bégangber)					
Eléments totaux Analyse triacide			Examen aux rayons X		
n° échantillons	T 443	B 4	n° échantillons	T 443	B 4
Perte au feu %	13,38	13,09	Kaolinite	90 %	85-90%
Résidu %	2,01	1,42	Goethite	5 %	8%
SiO_2 %	40,33	40,59	Quartz	2 %	2%
Al_2O_3 %	34,28	34,53			
Fe_2O_3 %	5,20	7,42			
TiO_2 %	0,30	2,10			
MnO %	-	-			
CaO %	0,16	0,05			
MgO %	traces	traces			
K_2O %	0,14	0,08			
Na_2O %	0,40	0,17			
SiO_2/Al_2O_3	1,99	1,99			
SiO_2/R_2O_3	1,81	1,75			

(1) Ces 2 échantillons feront l'objet d'un examen approfondi lors de l'étude des sols.

3.3.2. Séries paléotchadiennes moyenne et inférieure

Elles s'observent surtout dans le sud du Tchad ainsi qu'autour du massif central tchadien. La série inférieure apparaît la plus étendue, tandis que la série moyenne se localise en de rares points.

Ces séries sont superficiellement caractérisées par des formations de cuirasses ferrugineuses et de sols rouges sur les plateaux, fréquemment de cuirasses dans les bas-fonds tandis que les pentes sont le domaine de sols très lessivés de couleur claire.

- Formations de cuirasses ferrugineuses.

Elles occupent des surfaces importantes, principalement autour du massif central tchadien ainsi que dans l'extrémité sud du pays, au contact du socle (région nord Baibokoum). On les observe soit à faible profondeur dans le sol, soit en affleurements. Elles constituent :

- des tables peu étendues, d'une altitude de 450 à 500 m, exceptionnellement 630 m (Bogangbor) surplombant le relief actuel de plusieurs dizaines de mètres (sud du Tchad);
- des surfaces se confondant avec la surface actuelle : altitude 420 à 460 m (pourtour du massif central tchadien);
- des affleurements témoins très localisés au voisinage du socle (feuille de Mangalmé, d'Oum-Hadjer, ...) altitude 420-440 m.

Au nord du 13° de latitude Nord, ces cuirasses ferrugineuses disparaissent sous des formations plus récentes (1), ceci dans la partie centrale de la cuvette, mais non plus au voisinage des massifs où on peut encore les voir comme au nord d'Arada sur la feuille d'Oum-Chalouba.

Tout semble concorder pour faire admettre une ancienne surface d'érosion représentée par un ensemble cuirassé ayant été postérieurement déformé

(1) Dans la cuvette elle-même, J.FLANDRIN signale à Haraz, 75 km au nord d'Oum-Hadjer, une cuirasse épaisse d'environ 25 cm vers 50 m de profondeur. Ce niveau a été retrouvé dans divers autres forages. Il s'agit sans doute de dépôts gravillonnaires transportés provenant de l'ancienne surface cuirassée bordant les massifs.

par suite de la subsidence des cuvettes (cuvette tchadienne, cuvette Aouk-Salamat), ou de mouvements de surrection des massifs.

Ces déformations auraient provoqué l'entaillement des cuirasses par les cours d'eaux à la recherche de nouveaux profils d'équilibre, leur démantèlement et l'étagement qu'elles forment en certains endroits, ainsi que les différents niveaux semblables aux marches d'un immense escalier observés au sud et SE des massifs de Mangalmé et Abou Déia en direction de la dépression du Bahr Salamat.

Ainsi s'expliquerait également le dépôt de cuirasse pisolithique ou d'horizons gravillonnaires dans les sédiments, la formation de nouvelles cuirasses dans les parties mal drainées, les zones de colature où vont s'accumuler et précipiter des solutions riches en sesquioxydes de fer.

- Formations de sols rouges

Elles couvrent de grandes surfaces dans le sud du Tchad et s'intègrent dans quatre types de paysages (fig.21).

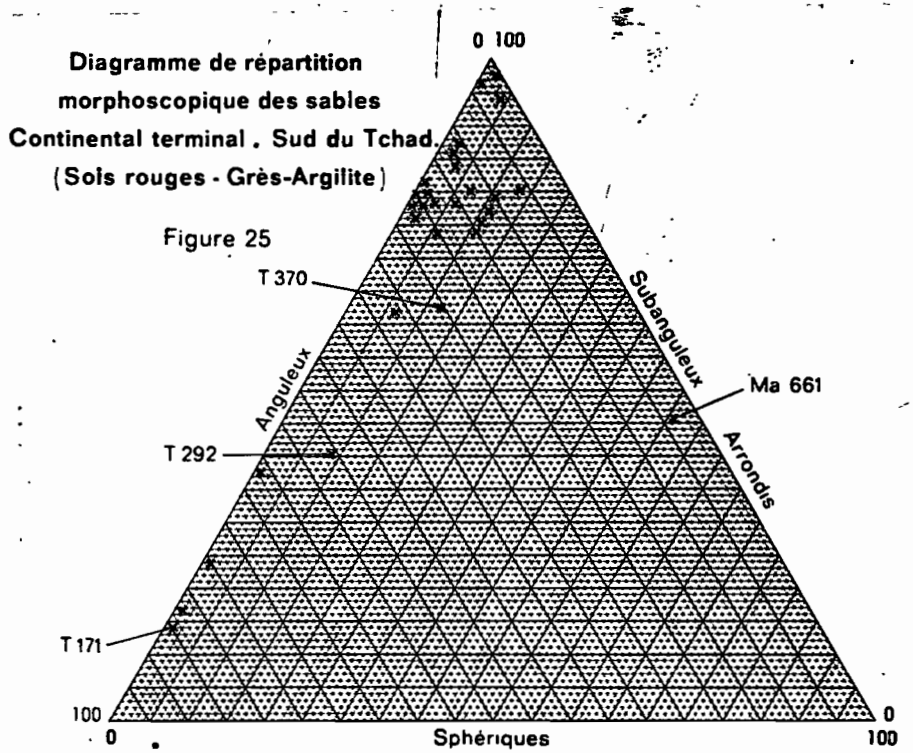
- Au voisinage des massifs granitiques de la région de Baïbokoum, à une trentaine de kilomètres au sud de Moundou, surgissent çà et là au milieu des sols rouges des buttes témoins de grès, d'argilite d'étendue réduite, couronnées par des formations de cuirasse ferrugineuse qui ont protégé une ancienne surface de l'érosion. Ces tables résiduelles surplombent la surface actuelle de 10 à 60 m. Les rivières entament celle-ci par des vallées étroites et plus ou moins encaissées qui, par endroits, atteignent le socle (site de Bogangbor, fig.21 a).

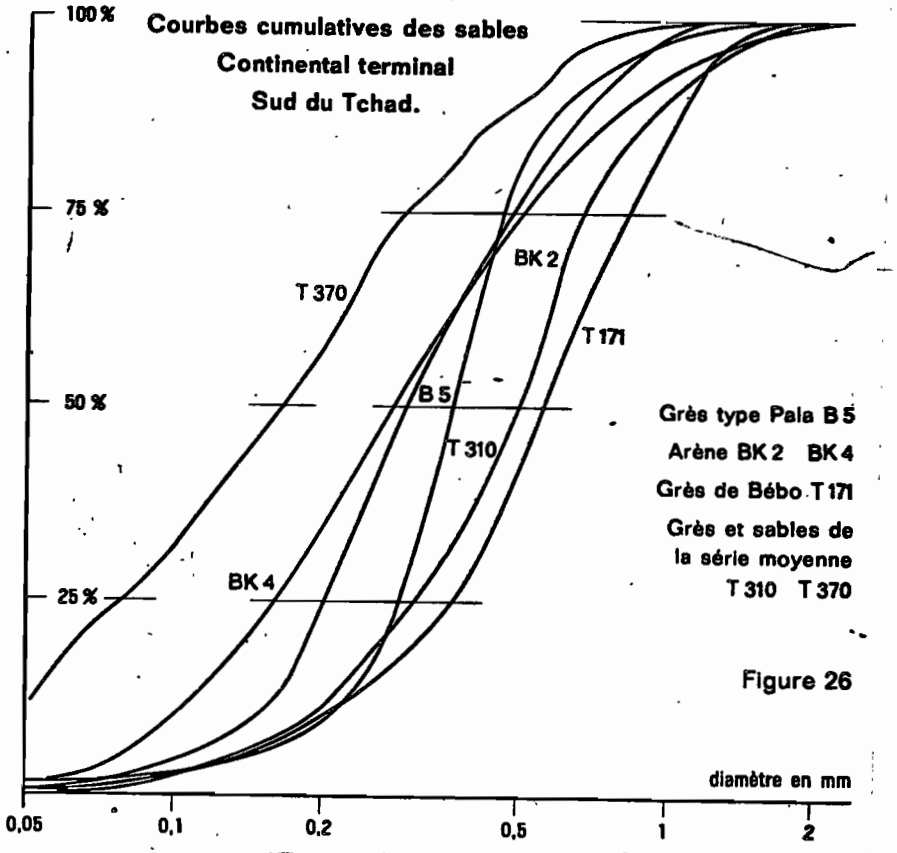
- Plus au Nord, ces mêmes formations constituent d'importants plateaux qui portent le nom de "Koros". Ceux-ci sont fortement entaillés par le réseau hydrographique où les vallées (Logone oriental et occidental, Chari, Ouham, Bahr Keïta,...) très larges s'encaissent de plusieurs dizaines de mètres dans les terrains du Continental Terminal. Les formations de cuirasses ferrugineuses sont ici plus modestes et s'observent par taches discontinues sur le plateau lui-même dans les zones basses les plus mal drainées, en bas des pentes (site sud de Kélo, fig.21 b).

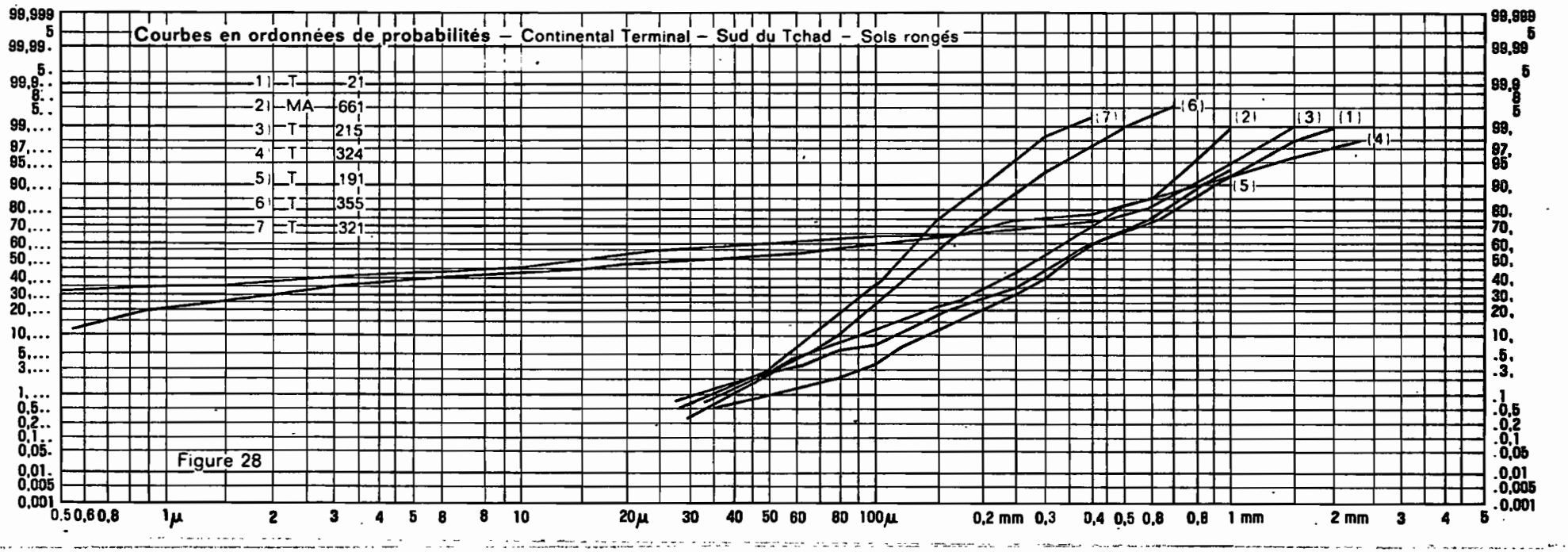
- Au nord du 9° de latitude Nord, ces formations de sols rouges ne subsistent plus qu'à l'état :

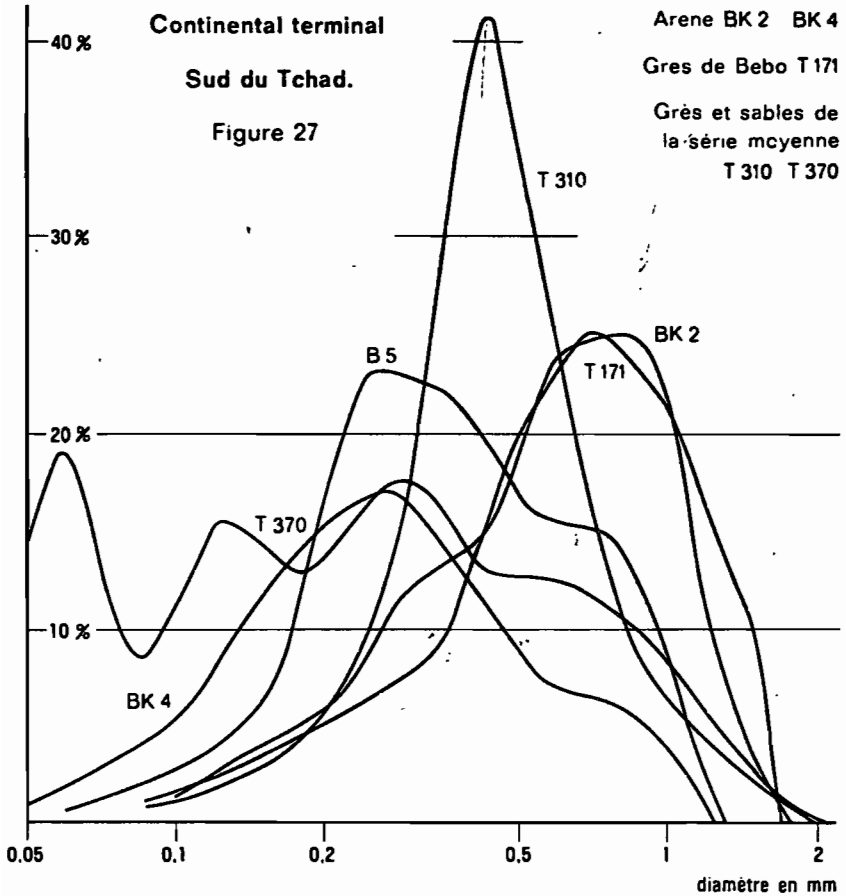
- de lambeaux accolés à des inselberge granitiques qui surgissent dans un paysage topographiquement plan. Ces témoins semblent les vestiges d'une vieille surface analogue à celle des plateaux du Sud que l'érosion aurait dégagée (site de Mangalmé, fig.21 c);
- de buttes témoins, de surfaces réduites ennoyées dans des terrains sédimentaires plus récents (site ouest Gounou-Gaya, fig. 21 d).

Ces formations de sols rouges présentent les faciès les plus divers, suivant qu'elles tirent leur origine de matériaux différents des séries paléotchadiennes moyenne et inférieure : sable, grès plus ou moins grossiers et


Diagramme de répartition
morphoscopique des sables
Continental terminal . Sud du Tchad.
(Sols rouges - Grès-Argilite)
Figure 25
0 100
T 370
Subanguleux
Ma 661
Anguleux
Arrondis
T 292
T 171
100
0
Sphériques
0
100


Courbes cumulatives des sables
Continental terminal
Sud du Tchad.
100 %
75 %
50 %
25 %
T 370
BK 2
T 171
B 5
T 310
BK 4
Grès type Pala B 5
Arène BK 2 BK 4
Grès de Bébo T 171
Grès et sables de
la série moyenne
T 310 T 370
Figure 26
diamètre en mm
0,05
0,1
0,2
0,5
1
2


Courbes en ordonnées de probabilités – Continental Terminal – Sud du Tchad – Sols rongés
1 T 21
2 MA 661
3 T 215
4 T 324
5 T 191
6 T 355
7 T 321
Figure 28
0,5 0,6 0,8 1µ 2 3 4 5 6 8 10 20µ 30 40 50 60 80 100µ 0,2 mm 0,3 0,4 0,5 0,6 0,8 1 mm 2 mm 3 4 5



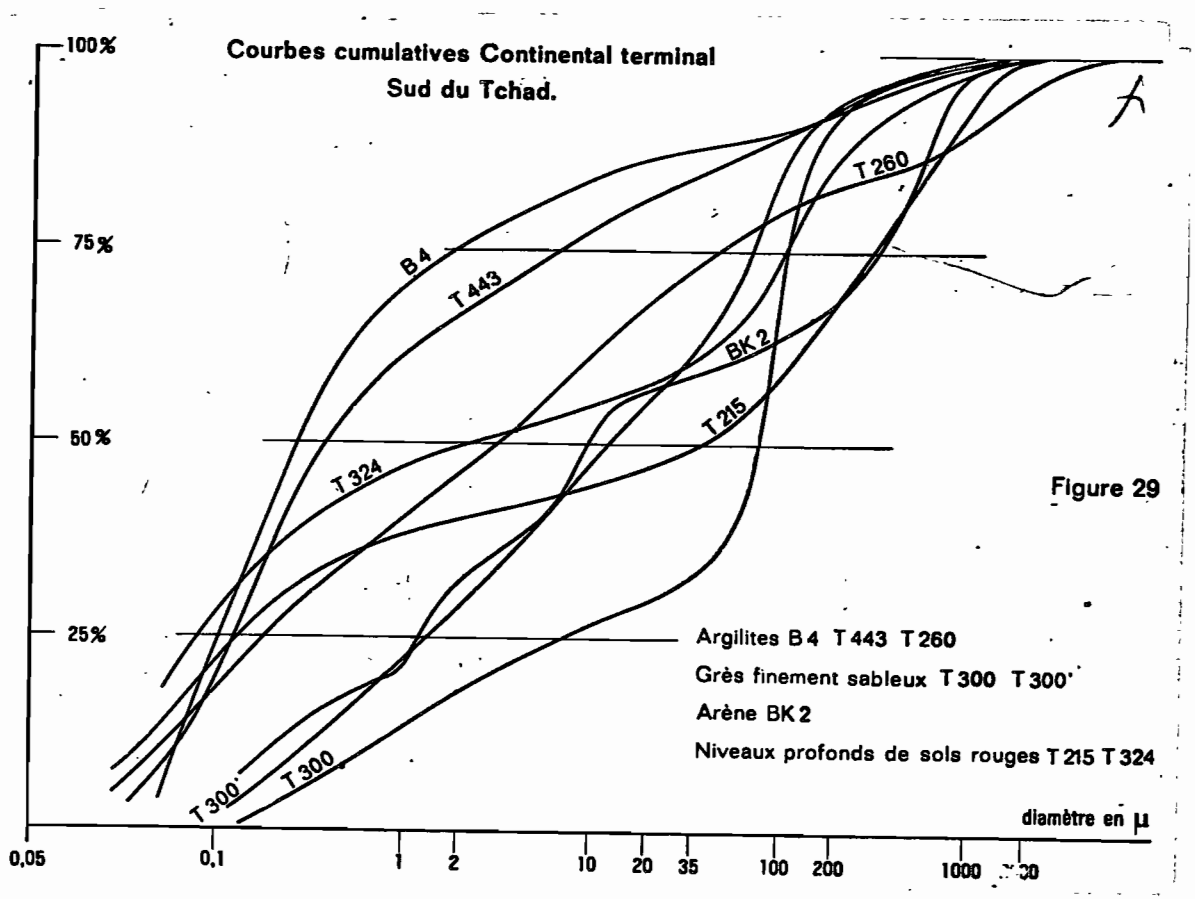


Figure 29

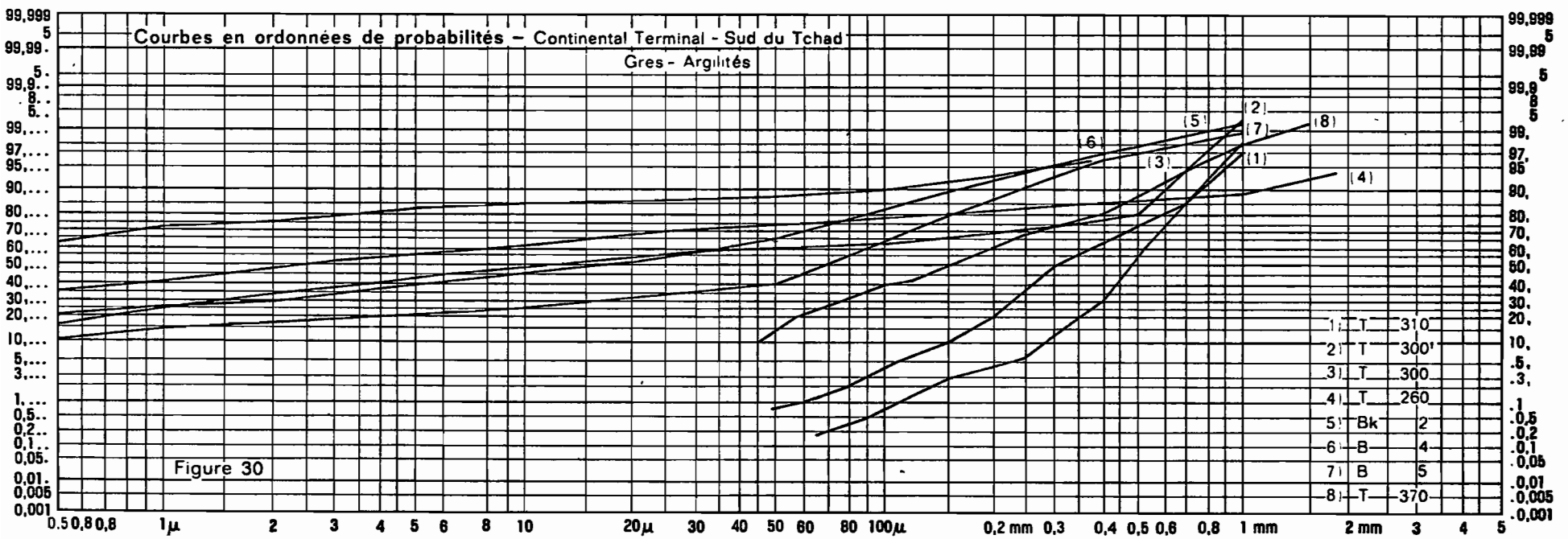


Figure 30

ferrugineux, parfois initialement arkosiques et dont les feldspaths ont donné naissance à des produits kaoliniques, grès argileux, argilites ..., ce qui explique par là même leur assez grande hétérogénéité de texture et de coloration dans la gamme des rouges. Leur identité d'apparence résulte d'une évolution pédogénétique commune, sous un climat relativement homogène pour la région considérée.

La figure 22 schématise les successions observées entre Gounou-Gaya et Baïbokoum. Elle met en évidence la répartition géographique des différentes séries du Continental Terminal.

La succession telle qu'elle s'établit ne peut s'expliquer que par des mouvements de flexure du socle conduisant à une tectonique d'effondrement ou de subsidence de la cuvette tchadienne (1).

Ces mouvements de flexure seraient postérieurs au dépôt de la série supérieure du Continental Terminal. Ils sont responsables de la disparition dans l'arrière-pays des séries supérieure et moyenne enlevées par érosion en même temps qu'ils expliquent plus au Nord l'ennoiement sous des formations sédimentaires récentes des sols rouges des séries supérieure ou moyenne.

3.3.2.1. Série moyenne

a - Buttes témoins partiellements ennoyées dans des sédiments récents.

Elles se localisent principalement sur la bordure nord du bloc de sédiments Continental Terminal et apparaissent sous forme d'élévations de sols rouges surplombant de quelques mètres seulement des sédiments de couleur claire (fig.21 d) (Gounou-Gaya, Tafeï, ...) ou bien constituent comme au Cameroun (Kalfou) un ancien système dunaire d'orientation NE-SW.

Une coupe de puits (échantillon T 35) située à 11 km de Gounou-Gaya, présente sur une dizaine de mètres un sable de couleur superficiellement brun-rouge (5 YR 5/4), rouge ensuite (2,5YR 4,5/8), puis versicolore (jaune-rose-blanc) jusqu'à 19-20 m où se situe la nappe phréatique.

La fraction colloïdale (0 à 2 μ) du sédiment est faible, 5 à 11%; elle est à dominance de kaolinite, avec un peu d'illite et d'hydroxydes de fer (goethite en traces, hématite). La fraction limoneuse (2 à 20 μ) est peu importante, 1 à 2%. La fraction sableuse (20 à 2 000 μ) est bien triée (Hét.0,43-0,46

(1) E.ROCH explique cette dernière par des mouvements de surrection du socle (massif de l'Adamaoua, de Yadé,...) qui se seraient produits jusqu'au Quaternaire récent.

sauf dans les horizons profonds : Hét. 0,95); elle est de grossièreté moyenne à fine (0,130 - 0,160 mm). Les courbes cumulatives de distribution des sables sont à faciès logarithmique sauf pour l'échantillon profond plurimodal. Figures 23 et 26, échantillons T 355 - T 370.

Les courbes de fréquence sont assez redressées (fig.24 - Echantillon T 355) ou au contraire très étalées à plusieurs sommets (fig.27 - Echantillon T 370). Les courbes en ordonnées gaussiennes sont sensiblement des droites à pentes plus ou moins accusées où se décèlent des sédiments en mélange.

Les sables sont quartzeux (0 à 5% de feldspath seulement) d'origine fluviatile à dominance de subanguleux; une partie (6 à 12%) a été éolisée puis reprise par l'eau.

Parmi les minéraux lourds dominent : zircon (36 à 44%), tourmaline (16 à 20%) auxquels s'ajoutent : disthène (6 à 12%), staurotide (4 à 18%), rutile (8 à 10%), sillimanite,...

b - Buttes témoins accolées aux inselberge

Au nord du 9° de latitude Nord, ces formations de sols rouges perdent de leur importance et ne s'observent plus d'une façon disparate qu'au voisinage des pointements du socle, autour desquels elles forment des auréoles. Ces inselberge granitiques sont profondément ennoyés par des sédiments. On trouve fréquemment dans ces sols fossiles vers 1 m - 1,50 m de profondeur, une cuirasse ferrugineuse localisée le plus souvent en bas des pentes (fig. 21 c).

Les sols sont de couleur brun-rouge (2,5 YR 4/5) en surface et sableux (5 à 10% d'argile), rouges (10 R 4/6) en profondeur sur une grande épaisseur (5 à 6 m) et sablo-argileux (20 à 25% d'argile). A plus grande profondeur, s'observe le niveau bariolé, versicolore.

Les prélèvements effectués au site de Mangalmé (échantillons Ma 66) montrent des sédiments moyennements triés en surface à mal triés en profondeur (Hét. 0,61 - 0,81) assez grossiers (Méd. 0,220 - 0,310 mm).

La fraction sableuse a une courbe bi-modale ou pluri-modale à faciès parabolique assez accusé (fig.23). Les courbes de fréquence à un seul sommet ont une base très étalée. Celles en coordonnées gaussiennes ont une pente moyenne relativement constante. Les sables de type fluviatile ont été remaniés superficiellement par les vents, puis repris par l'eau. Il y a dominance de grains subanguleux (46%) et de grains sphériques dépolis ou luisants en surface (51%) de subanguleux et arrondis (80 à 84%) en profondeur

Parmi les minéraux lourds, le zircon domine (70 à 74%) accompagné de la tourmaline, du disthène, de l'épidote, ...

La fraction colloïdale est composée de kaolinite dominante, d'un peu d'illite, de goethite et d'hématite.

Les échantillons des sols rouges ainsi observés autour des massifs présentent tous des caractéristiques identiques.

3.3.2.2. Série inférieure

Nous distinguerons séparément les formations de la série inférieure et parfois moyenne qui constituent de vastes plateaux ou "koros" et les formations de la base de la série inférieure (grès grossiers à passées d'argilite, arènes, ...) qui se localisent sur les contreforts de l'Adamaoua et du massif central tchadien.

a - Les formations des "Koros"

Peu après Kélo, en direction de Moundou (fig.22), les sols rouges que nous avons vu affleurer sporadiquement au nord de Gounou-Gaya, prennent une grande extension. Ils forment alors une succession de plateaux (échantillons T 32) plus ou moins profondément entaillés par les vallées et sont accompagnés de cuirasses ferrugineuses anciennes (échantillons T 280). Ces deux formations semblent se développer là, sur la série schisto-gréseuse (grès finement sableux feuilletés passant à des argilites - échantillons T 300 - T 300'). Dans les dépressions, des cuirasses ferrugineuses de nappe, subactuelles à actuelles, font leur apparition au milieu des sols très lessivés de couleur claire (échantillon T 290 - fig. 21 b).

Les sols rouges ont une coloration plus accentuée que ceux de la série moyenne. Les échantillons du profil T 32 sont brun-rouge en surface (2,5 YR 4/4) franchement rouges en profondeur (10 R 4,5/8).

Ils sont sableux superficiellement, argilo-sableux à argileux dès 40 à 60 cm. L'examen granulométrique de la fraction sableuse indique un sédiment bien à assez bien trié (Hét. 0,38 - 0,54) de grossièreté moyenne à fine (Méd. 0,114 à 0,140). Les courbes cumulatives sont à faciès logarithmique (fig.23). Les courbes de fréquence et en ordonnées gaussiennes sont analogues à celles des échantillons T 35.

Les sables anguleux et subanguleux en surface, anguleux en profondeur ont un indice d'usure faible (0,124 - 0,060). Les minéraux lourds sont à dominance de zircon (28 à 46%) et de zoïsite (3 à 14%), de disthène (14 à 15%), de staurotide (6 à 26%) de tourmaline (6 à 22%). La courbe de la fraction colloïdale de l'horizon profond (T 324) (fig.29) le plus argileux est de type hyperbolique et indique des sédiments déposés par décantation, tandis que les sables de ce même horizon l'ont été en cours de transport ou par décantation pour les plus grossiers. L'argile kaolinique est accompagnée de goethite et d'hématite

en faible quantité. L'examen d'échantillons de matériaux sur lesquels se développent ces sols montre l'extrême variabilité de la roche mère; celle-ci peut être franchement argileuse ou au contraire être représentée par un grès finement sableux avec tous les intermédiaires entre ces deux termes. Les courbes cumulatives sont alors à faciès bimodal : hyperbolique ou parabolique faible pour la fraction argileuse, logarithmique ou hyperbolique pour la fraction supérieure à 35 µ (échantillons T 300 - T 300', fig.29). L'examen granulométrique des sables indique des sédiments bien triés (Hét. 0,32 - 0,45) fins à assez fins (Méd. 0,114 - 0,087). Il y a dominance de grains anguleux et l'indice d'usure est faible (0,076 - 0,032). La fraction argileuse est aussi kaolinique.

Les minéraux lourds observés sont principalement la tourmaline, le zircon, la zoïsite, le disthène. Il n'est pas noté ici de staurotide. Malgré ceci, il existe d'étroits rapports entre ces échantillons de grès finement sableux et de grès argileux et le sol rouge précédent.

Les cuirasses qui accompagnent celui-ci sont : soit en position haute et en affleurement, il s'agit de formations anciennes; soit en position basse pour la cuirasse récente et alors dans le sol au-dessus d'une nappe phréatique. Celle-ci était à 6 m à l'endroit observé.

La cuirasse ancienne (échantillon T 280) est massive, de couleur saumon clair avec des taches plus foncées; elle est riche en fer (hématite-goethite 30%) et s'est développée dans des argilites finement sableuses (40 à 45% de kaolinite, 8% de quartz). Elle contient également de la gibbsite (10%).

La cuirasse récente (échantillon T 290) située au-dessus de la nappe phréatique, repose sur une argilite ou un grès argileux bariolé. Elle est constituée de concrétions de formes diverses, parfois pisolithiques de couleur brun-rouille. Celles-ci sont empaquetées dans un liant blanc à beige clair. Très légèrement vacuolaire cette cuirasse se débite facilement à la pioche. Sa composition est voisine de la précédente, mais riche en quartz (20%), moins riche en gibbsite (4%).

b - L'approche des massifs

. Contreforts de l'Adamaoua

Peu après Moundou, en nous dirigeant vers Baïbokoum, en même temps que continuent à s'observer les sols rouges, émergent çà et là des buttes témoins des grès et des argilites couronnées de cuirasses ferrugineuses (fig.22).

La figure 21 a montre la coupe schématique du site de Begangber situé à 55 km au sud de Moundou. On observe successivement de haut en bas :

- une cuirasse ferrugineuse brun-rouille (échantillon B_1), très riche en fer (75%) à goethite dominante et hématite.

- un niveau ocre-rouge (échantillon B_2) qui apparaît comme une épigénie d'une argilite (kaolinite 75%, goethite et hématite 20%). Dans ce niveau, présence d'oolithes à peine plus foncées, uniquement ferrugineuses et à goethite (échantillon B_3).

- une argilite feuilletée blanche veinée de violet, de jaune ou de rouge (échantillon B_4) à dominance de kaolinite (85 à 90%) à laquelle s'ajoutent de la goethite (8%) et du quartz (2%). Sa courbe de distribution granulométrique a un faciès hyperbolique caractéristique de sédiments lacustres déposés par décantation (fig.29). En ordonnées gaussiennes, la courbe est à pente très faible, entre 100 et 0,5 /.

- des grès (échantillon B_5) proches par leur faciès de ceux de Pala, à grains moyens et ciment ferrugineux, de couleur brun-noir (5 YR 3/1), avec de multiples petites inclusions blanchâtres (feldspaths 5% - orthose et oligoclase).
  L'examen granulométrique des sables montre un sédiment assez bien trié (Hét.0,55) de grossièreté moyenne à forte (Méd.0,30). La courbe de distribution (fig.26) présente un faciès parabolique (30%) et hyperbolique pour la partie la plus grossière. La courbe de fréquence a une large base et est à 2 sommets. Celle en ordonnées gaussiennes est une droite de pente moyenne et légèrement ondulée. Il y a dominance de grains anguleux (60%) et subanguleux (30%) et l'indice d'usure est faible (0,108). Les minéraux lourds sont assez abondants (2,4%) mais avec une forte proportion d'opaques (84%). Il y a prépondérance de zircon (36%), disthène (32%) et de rutile (12%) et un peu de staurotide, zoïsite, tourmaline, hornblende verte.

Le sol (échantillon T 19) situé en contrebas de la butte de Begangber et qui représente la surface actuelle est brun-rouge (5 YR 3/4) en surface, rouge jaunâtre (10 R 4/6) puis rouge (7,5 R 4/8) en profondeur. Il est sableux superficiellement (9% d'argile), argilo-sableux en profondeur (32%). Les sables sont très moyennement triés (Hét. 0,60 - 0,71) et de grossièreté proche de celle du grès (0,265 mm - 0,315 mm). Les courbes cumulatives sont à faciès mi-hyperbolique, mi-parabolique (fig.23). Celles de fréquence sont très étalées et à un ou deux sommets (fig.24). En ordonnées gaussiennes, ce sont sensiblement des droites à pente moyenne. Les grains subanguleux dominent très largement (90 à 95%) et l'indice d'usure est plus élevé que dans le grès (0,196 à 0,224).

Parmi les minéraux lourds, il y a assez peu de zircon (8 à 18%). Disthène (35 à 45%), rutile (20 à 30%) dominent avec également de la staurotide, de la tourmaline, de l'épidote verte, de la sillimanite.

La fraction colloïdale est composée de kaolinite avec un peu de goethite et de l'hématite en plus faible quantité.

Malgré certaines différences avec les grès (indice d'usure plus élevé moins grande abondance de zircon, ...), ce sol apparaît comme dérivant de ceux-ci.

. Pourtour du massif central tchadien (Monts de l'Abou Telfan, du Guera, de Melfi).

Le pourtour de ce massif est surtout caractérisé superficiellement par des formations de cuirasses ferrugineuses qui sont le plus souvent formées sur des matériaux détritiques (sables arénacés, argiles sableuses,...), parfois des argilites.

La coupe du puits de Boum Kébir va nous donner une idée de la composition des formations de la série paléotchadienne inférieure dans cette région. Il livre la succession suivante :

0 - 2,70 m : sol ferrugineux lessivé sableux à sablo-argileux.

2,70 - 9,00 m : cuirasse ferrugineuse à concrétions ferrugineuses brun-rouille (échantillon BK o). Vers 7,5 m, cuirasse d'aspect bariolé (échantillon BK 1).

9,00 -12,25 m : matériau argilo-sableux blanc veiné ou moucheté de jaune (7,5 YR 7/8), (argile blanche et éléments sableux assez grossiers : échantillons BK 2) .

12,26-18 m : matériau de couleur saumon (10 R 6/8), avec petites taches blanches ou ocres formant mouchetage, d'apparence assez grossières. Par endroits, litage visible. Aspect argileux des parties blanches friables (argile blanche ou saumon avec particules grossières d'éléments altérés ou en voie d'altération (échantillon BK 3).

18 - 24 m : matériau sableux micacé beige jaunâtre, lité avec passages argileux blanc ou saumon (échantillon BK 4).

La cuirasse ferrugineuse (échantillons BK 0 - BK 1) moyennement riche en fer (goethite - hématite 30%), s'est développée dans un matériau argilo-sableux à argileux (kaolinite : 30 à 35% - quartz : 30 à 35%).

Le matériau blanc ou saumon (échantillons BK 2 - BK 3) sous-jacent est argilo-limoneux avec une fraction sableuse grossière importante. La courbe de distribution du sédiment total (fig.29) a un faciès plurimodal, la courbe de la fraction argileuse (kaolinite) est très sinueuse. La courbe en ordonnées gaussiennes est à pente générale faible jusqu'à 0,5 μ, très redressée entre 0,5 et 0 μ. La goethite est en plus forte proportion dans les éléments les plus colorés. L'examen granulométrique des sables montre des sédiments bien à assez bien triés (Hét. 0,44 - 0,53), grossiers (0,555 - 0,505 mm). Les courbes de distribution des sables sont bi-modales, paraboliques pour 65%, hyperboliques dans la partie la plus grossière (fig.26).

Les sables sont quartzeux, anguleux (indice d'usure très faible), opaques, avec traces de ciment blanc dans les creux ou fissures (0,6 mm), transparents ou translucides aux plus petites dimensions. Les feldspaths augmentent dans les petites dimensions (0,5% à 0,4 mm - 2% à 0,1 mm). A ce dernier diamètre, on note aussi de la muscovite.

Les minéraux lourds sont en pourcentage variable (1,38 - 0,62 %) avec de nombreux opaques (98 - 66%), le reste étant du zircon (2 - 3,%). L'examen aux rayons X des opaques indique un oxyde de titane et de l'hématite.

Ces sédiments semblent avoir subi un faible transport. Ils étaient constitués initialement de quartz et de feldspaths, ces derniers ayant été transformés en kaolinite. Leur origine granitique est vraisemblable.

Le matériau sableux à interstratifications argileuses (échantillon BK 4, fraction 0 - 35 µm: 42%) possède une fraction argileuse kaolinique. Les sables sont mal triés (Hét.0,80), assez fins (Méd. 0,280 mm). Dans la fraction 0,5 mm, il y a : mica 84%, quartz anguleux 10%, feldspaths 6%. Il s'agit de biotite, décolorée, gondolée, rappelant celle des micaschistes. Les minéraux lourds sont représentés par une majorité d'opaques (hématite - oxyde de titane) et quelques zircons. Ce dépôt, comme le précédent, paraît avoir subi un faible transport. Il proviendrait d'une zone de métamorphisme.

3.3.3. Caractères analytiques généraux des formations continentales terminales

(Tableaux 5 à 11 en annexe)

Les divers résultats obtenus sur le Continental Terminal du sud du Tchad sont groupés en différents tableaux figurant en annexe et traitant d'une part des sédiments superficiels tels qu'on les perçoit de nos jours, d'autre part des roches plus ou moins altérées sous-jacentes que nous avons pu recueillir. Nous ne parlerons plus ici des cuirasses ferrugineuses que nous avons simplement citées pour les intégrer dans les divers paysages. Nous y reviendrons plus longuement lors de l'étude des sols.

3.3.3.1. Les roches mères

Il s'agit de grès à faciès divers, d'arkoses, d'argilites ... qui ont donné naissance par altération pédogénétique aux sols rouges et aux cuirasses ferrugineuses.

a) - Grès et arkoses

Leur coloration est extrêmement variée du fait d'une imprégnation ferrugineuse et le bariolage de ces matériaux est souvent la règle générale en

dessous du sol proprement dit, ceci par suite d'une redistribution du fer.

Il s'agit en fait de grès arkosique (feldspath supérieur à 15%). Encore ne voyons-nous qu'une roche quelque peu altérée où les feldspaths kaolinisés ont partiellement (échantillon B 5) ou presque totalement disparu (échantillons BK 2, BK 3). Les feldspaths non altérés restants sont généralement de l'orthose.

Les courbes cumulatives de ces grès sont de faciès divers. Celles du sédiment total pour les plus kaolinisés (échantillons BK 2 - BK 3) sont très sinueuses dans la fraction argileuse donc de faciès plurimodal . On serait tenté de voir dans ce type de faciès l'indice de la kaolinisation des feldspaths du sédiment après sa mise en place. Les courbes des sables sont généralement mixtes (parabolique et hyperbolique), échantillons B 5, BK 2, BK 4, T 171, ou sinueuses (échantillon T 370), figures 26-29.

Les courbes de fréquence sont étalées sur l'axe des abscisses et à plusieurs maxima, à l'exception de l'échantillon T 310 très redressé (fig.27). Les courbes en ordonnées gaussiennes sont des droites plus ou moins légèrement ondulées (échantillons B 5 - T 370) à pente moyenne ou assez forte et alors distordue (échantillon T 310), figure 28. L'échantillon BK 2 - grès argileux provenant de la décomposition d'une arène quartzo-feldspathique - a une courbe voisine des argilites à pente faible très redressée seulement entre 0,5 et 0 μ (fig.30).

L'hétérométrie est variable, faible (échantillon T 310), moyenne souvent, très élevée dans quelques cas (échantillon T 370). L'indice de Krumbein est voisin, mais présente parfois des écarts sensibles (T 292).

La grossièreté du sédiment est diverse, fine (T 370 : 0,160 mm), souvent forte à très forte (B 5 : 0,300 mm - T 292 : 0,700 mm).

Il y a dominance de quartz anguleux, 100%, au voisinage des massifs (BK 2, BK 3, BK 4), 80 à 60% en nous éloignant de ceux-ci, tandis que dans les échantillons les plus septentrionaux, dominent les subanguleux en même temps qu'apparaissent les premières traces d'éolisation (T 370, T 310, T 292). L'indice d'usure très faible au Sud, augmente donc légèrement vers le Nord.

Parmi les minéraux lourds, présence abondante de disthène dans l'échantillon le plus septentrional (B 5), de staurotide dans le T 292 (Kyabé). Dominance nette du zircon dans les autres échantillons.

b) - Argilites

Leur coloration est extrêmement diverse, blanche veinée ou non de jaune - rouge - violet ... ou bien uniformément jaune-saumon, rouge lie-de-vin violet ... Ces argilites sont finement feuilletées.

La fraction colloïdale inférieure à 2 μ est importante puisqu'elle peut atteindre 80%. Les limons sont en quantité variable, très abondants dans les échantillons les plus finement sableux qui font le passage aux formes gréseuses.

Les courbes cumulatives du sédiment total sont à faciès hyperbolique pour les types les plus argileux (B 4 - T 443), plurimodal lorsque la granulométrie est moins fine (T 300 - T 300') ou que les argilites ont subi un début d'épigénie (T 260) -(fig. 29). En ordonnées gaussiennes, les courbes sont à pente faible, entre 0,5 et 100 μ, généralement plus redressées pour des diamètres supérieurs.

Les sables des argilites les plus grossières (T 300 - T 300') sont bien triés et les courbes de fréquence bien redressées. La grossièreté du sédiment est faible (Méd. 0,087 mm - 0,114 mm). Ils sont à dominance d'anguleux. L'indice d'usure est très faible.

Opaques très nombreux, parmi les minéraux lourds, notamment dans l'échantillon T 260 ferruginisé où la teneur pondérale est élevée (6,7%). Pour les autres échantillons, la teneur est faible, inférieure à 1%. Il y a abondance de zircon mais le disthène est relativement fréquent, ainsi qu'également la staurotide, la zoïsite et la biotite.

La fraction argileuse est composée de kaolinite dominante associée à de la goethite et hématite, et parfois à de la gibbsite en traces.

3.3.3.2. Les formations de sols rouges

Le premier critère de classification de ces formations est leur couleur rouge relativement uniforme sur une grande épaisseur (4-5-6 m, parfois plus). Les formations les plus méridionales se tiennent généralement dans la gamme des 10 R pour les niveaux de profondeur (4/6 - 4/8), tandis que ceux de surface sont d'un rouge souvent plus foncé, 10 R 3/6 ou dans la gamme des 2,5 YR 4/4 brun-rouge) ou 5 YR (3/4 brun-rouge sombre). Les formations septentrionales sont d'un rouge plus clair en profondeur (2,5 YR 4/8), brun-rouge en surface (5 YR 5/4 - 4/6).

La granulométrie est de deux types :

- au Sud : niveau superficiel peu épais, 40 à 60 cm, passant très progressivement à un niveau argileux (35 à 45% d'éléments inférieurs à 2 μ) qui se maintient ensuite sur une grande épaisseur.
- au Nord : l'ensemble du profil est généralement sableux (5 à 10%), parfois un peu plus argileux en profondeur (20%).

Les courbes cumulatives du sédiment total effectuées pour ces niveaux les plus argileux sont à faciès bi ou plurimodal, la fraction argileuse inférieure à 10 μ est de type hyperbolique plus ou moins bien marquée (fig. 29). Les courbes de sommation des sables présentent des faciès divers à tendance loga-

rithmique (T 321 - T 355) mi-parabolique mi-hyperbolique (T 191 - T 193) ou plurimodales (courbes sinueuses : T 21 - Ma 661) - Figure 23 . Les courbes de fré quence sont généralement assez étalées sur l'axe des abscisses et présentent plusieurs maxima (fig.24). En ordonnées de probabilité, les courbes sont des droites légèrement ondulées et à pente moyenne (fig.28).

Les sables, d'une façon générale, sont assez mal triés, à l'exception des échantillons T 32 - T 35. L'hétérométrie est élevée, comprise entre 0,51 et 0,95.

L'indice de Krumbein est voisin de l'hétérométrie et les écarts sont souvent faibles, sauf quelquefois pour les horizons profonds (T 145 - T 215 - Mi 133 - Ma 663 ...).

Les sables sont de grossièreté moyenne à assez forte (Médiane comprise entre 0,215 mm et 0,455 mm) si l'on excepte les échantillons T 32 - T 35 beaucoup plus fins (0,114 mm à 0,150 mm). L'indice de grossièreté augmente généralement avec la profondeur.

L'examen morphoscopique des sables révèle une dominance de sables quartzeux, les éléments feldspathiques étant peu abondants, inférieurs à 8% (échantillon Me 241 où ils sont le plus nombreux).

Les quartz sont de type le plus souvent subanguleux luisants ou picotés (46 à 94%), les éléments anguleux et arrondis sont peu fréquents, les éolisés assez rares. Cependant, nous en observons plus abondamment dans les échantillons T 35 et Ma 66. Une fraction importante de ceux-ci a été reprise par l'eau après leur remaniement éolien. Ceci est visible pour l'ensemble des échantillons (T 35) ou seulement pour l'échantillon de surface (Ma 661), échantillon le plus septentrional où vont jouer consécutivement sur le terrain dénudé où nous l'avons pris (champ de culture), une éolisation de saison sèche, une reprise par les eaux de ruissellement en saison des pluies. Cet échantillon a l'indice d'usure le plus élevé (0,500). Pour tous les autres échantillons, l'indice d'usure est voisin de 0,2.

Les minéraux lourds sont peu abondants (teneur pondérale : 0,15 à 0,6%) sauf au voisinage des massifs (échantillons Mi 13 - Me 24 - Ma 66) où l'on a des teneurs supérieures à 1, parfois 2%.

Si l'association zircon-tourmaline-rutile domine assez souvent, trois minéraux permettent un essai de classement.

- Le disthène, assez abondant dans la partie sud (30 à 40%), disparaît progressivement vers le Nord. Nous le trouvons également dans les grès ou argilites de cette même région;
- la staurotide est le minéral assez marquant des échantillons de Kyabé (T 2), du nord de Krim-Krim (T 324), de l'ouest de Gounou-Gaya (T 35);
- le zircon est très largement dominant au voisinage des inselberge granitiques (échantillons Mi 13, Me 24, Ma 66).

La fraction argileuse est :

- au Sud, à dominance de kaolinite et faible quantité d'hydroxydes de fer cristallisés : goethite, hématite. Traces pas toujours visibles de gibbsite.

- Au Nord, à kaolinite dominante et un peu d'illite. Egalement de la goethite et de l'hématite en quantité moindre.

3.3.4. Conclusions sur les formations continentales terminales

Les argilites et leurs variantes plus ou moins finement sableuses apparaissent donc d'origine lacustre et déposée par décantation pour les plus argileuses, par décantation et en cours de transport par de faibles courants pour celles faisant le passage aux grès.

Les grès, arkoses et sables sont de type fluviatile assez peu évolué au voisinage des massifs, tandis que, plus au Nord, la plus grande abondance de subanguleux (usure plus forte) évoque des sédiments de plage. Ces sables auraient été déposés en cours de transport par des courants d'intensité diverse dans un ou des lacs et repris ensuite par des flux variables avant de subir après leur exondation, un remaniement éolien faible (série paléotchadienne moyenne) qui se traduit par l'apparition de dunes, orientées NE SW comme dans la région de Yagoua-Kalfou (Nord-Cameroun). Celles-ci sont aujourd'hui fixées par une végétation arbustive ou arborée.

Ces alternances de grès grossiers ou finement sableux et d'argilites impliquent plusieurs cycles de sédimentation lors de leur dépôt au cours du Continental Terminal.

Les sédiments ainsi déposés étaient arkosiques au voisinage des massifs (série paléotchadienne inférieure - massif central tchadien, pourtour de l'Adamaoua,...) ainsi qu'en témoignent : des feldspaths non encore altérés (orthose) trouvés dans les grès; des lits d'argile blanche provenant de la décomposition de ces feldspaths. L'altération semble avoir été très profonde puisque ces traces sont encore visibles à une vingtaine de mètres de profondeur, à moins que celle-ci ne soit due alors à la présence de nappe ancienne qu'évoquent des niveaux versicolores.

Les sédiments sont plus uniquement quartzeux au Nord (série paléotchadienne moyenne).

Les minéraux lourds font ressortir l'origine complexe des sédiments :

- minéraux de métamorphisme :.disthène très abondant dans le Sud (Baibokoum)
  .staurotide plus au Nord,
  associés aux minéraux des granites (zircon, tourmaline, rutile).
- minéraux du cortège granitique (pourtour du massif central tchadien et des inselberge).

Ces sédiments ont subi, après leur mise en place, diverses pédogénèses qui sont par ordre d'ancienneté :

- une ferralitisation profonde visible à la surface résiduelle de Koro (série paléotchadienne supérieure);
- des processus de ferruginisation et ferralitisation divers (séries paléo-tchadiennes moyenne et inférieure). Formation des cuirasses ferrugineuses et des sols rouges ...

Ces évolutions qui sont liées à des variations climatiques se sont effectuées pendant une période où les mouvements tectoniques affectaient l'ensemble decette région marquée par la subsidence de la cuvette tchadienne proprement dite. Ceci explique l'étagement des séries inférieure et moyenne; l'ablation presque totale de la série supérieure, les décrochements plus récents de la surface de cuirasse ferrugineuse ...

3.4. FORMATIONS QUATERNAIRES

Celles-ci vont englober des formations anciennes remaniées, plus récentes, enfin des séries subactuelles à actuelles.

Nous distinguerons :

- des formations fluviatiles
- des formations fluvio-lacustres ou lacustres

Dans les premières, nous étudierons :

- des formations résultant du remaniement local des sédiments du Continental Terminal prenant différents faciès en fonction de la latitude et du voisinage des massifs;
- une série sableuse récente et ses différents faciès;
- une série alluviale subactuelle à actuelle;

Dans les secondes :

- une série fluvio-lacustre ancienne à nodules calcaires;
- une série fluvio-lacustre qui constitue des "regs" autour du massif du Ouaddaï;
- une série lacustre récente.

Nous parlerons ensuite de deux cordons sableux ayant ceinturé deux lacs successifs au Quaternaire.

3.4.1. Formations fluviatiles

3.4.1.1. Formations anciennes remaniées

Ce sont les formations continentales terminales de la région sud du Tchad qui font l'objet du remaniement. Des surfaces relativement étendues au sud du 9° de latitude Nord se présentent recouvertes par des formations sédimentaires de couleur claire (beige ou blanche), apparemment sans liaison avec les formations très colorées des plateaux. Les premières peuvent exister seulement sur les pentes du relief ou bien envahir tout le paysage.

Le remaniement fait appel à différents processus jouant consécutivement :

1°) un entaillement des formations sous-jacentes du plateau par creusement des vallées et la mise à jour de séries plus ou moins profondes;

2°) des phénomènes de colluvionnement sur les pentes, du plateau vers les bas-fonds;

3°) des phénomènes de lessivage oblique de l'argile et du fer dans le sol lui-même, ces éléments allant s'accumuler dans les thalwegs et pouvant donner naissance, dans certains cas, à des cuirasses ferrugineuses. Ces deux facteurs de remaniement seront analysés au chapitre consacré aux sols.

Les échantillons donnés ci-dessous ont été prélevés dans une toposéquence à Kyabé (9°28 de latitude Nord, 18°55 de longitude Est).

Echantillons T 2 sur le plateau (altitude 422 m) : sol rouge

Echantillons T 12 à mi-pente : sol lessivé de couleur claire

Echantillons T 13 en bas de pente (altitude 387 m) : sol hydromorphe d'abord tacheté, puis à cuirasse ferrugineuse.

La comparaison des courbes de sommation des sables des échantillons T 12 et T 2 révèle un triage légèrement meilleur dans le premier cas (Hét. 0,64 à 0,70 contre 0,78 à 0,87) ainsi qu'une grossièreté plus faible des sédiments (0,217 mm à 0,235 mm contre 0,240 à0,370 mm) et un indice d'usure plus élevé (0,192 à 0,240 contre 0,174 à 0,196).

La comparaison des minéraux lourds de ces deux profils indique la parenté de ces deux groupes d'échantillons. Il y a dominance dans les deux cas de staurotide, zircon et tourmaline. On notera cependant dans les échantillons T 12 la plus grande abondance de staurotide, notamment dans l'horizon supérieur.

La fraction argileuse de l'échantillon T 123 est identique à celle des échantillons T 21 - T 25 (kaolinite, hématite, un peu de goethite). Celle des échantillons T 133 - T 135 est à prédominance de kaolinite à laquelle s'ajoutent de l'illite et, dans le T 135, des traces de goethite.

Tableaux en annexe n° 12 et 13.

a) Sud et centre tchadien (entre les 9è et 13è parallèles)

Au Nord du 9è parallèle et jusqu'au 13° de latitude Nord, apparaissont des formations superficiellement très remaniées dans une topographie beaucoup moins accidentée.

Dans le bassin du Logone et Chari, cette série constitue le premier delta du Chari et occupe de vastes étendues limitées :

- à l'Est par les contreforts du massif central tchadien;
- à l'Ouest par la dépression inter Logone-Chari.

Nous retrouvons cette même série au NW de Kélo où elle se poursuit au Cameroun.

Celle-ci présente de grandes analogies avec les formations remaniées du Continental Terminal du Sud (échantillons T 12,...). De couleur claire, beige, blanche ou légèrement ocrée, elle s'observe sur une grande épaisseur (40 à 60 m) et se superpose à des formations argileuses pouvant atteindre 150 à 200 m, recouvrant elles-mêmes des sables, puis des argiles précédont le socle (J. BARBEAU 1956 a).

On serait tenté de voir dans cette formation l'homologue de la série paléotchadienne moyenne constituée par des sables rouges et des sables blancs dans l'arrière pays du Tchad, mais superficiellement très remaniée ici. Il est plus vraisemblable d'admettre que ces sédiments tirent leur origine après transport des séries paléotchadiennes supérieure et moyenne très érodées dans la partie sud du territoire (sud du 9è parallèle).

Les échantillons de cette série sont d'une relative diversité. Le faciès des courbes cumulatives des sables est souvent de type mixte parabolique et hyperbolique, indiquant des sédiments déposés en cours de transport pour la partie fine, par décantation pour les plus grossiers. Certaines courbes sinueuses montrent des sédiments apportés par des flux d'intensité différente ou variable (fig.31). Les courbes de fréquence (fig.32) sont de type fluviatile très diversement trié. Parmi les mieux triés, signalons les échantillons F 31 F 361,... Morphoscopiquement, ces sédiments très sableux (5 à 20% d'éléments inférieurs à 2/w) sont constitués principalement de grains de quartz subanguleux, tandis que les grains éolisés ou anguleux non usés ou arrondis sont peu

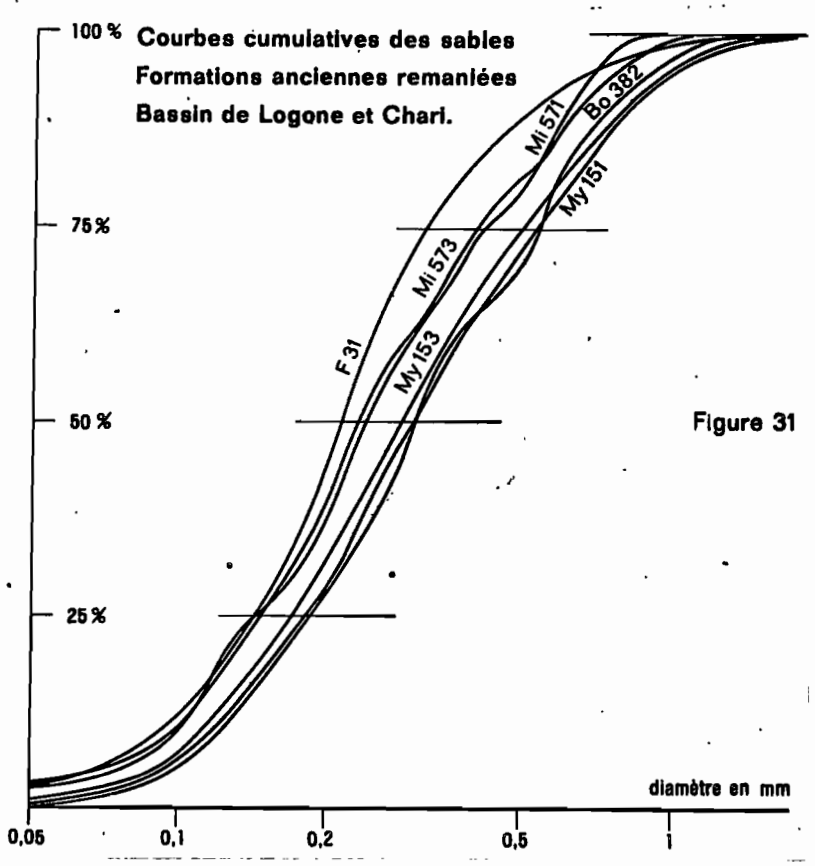


Figure 31

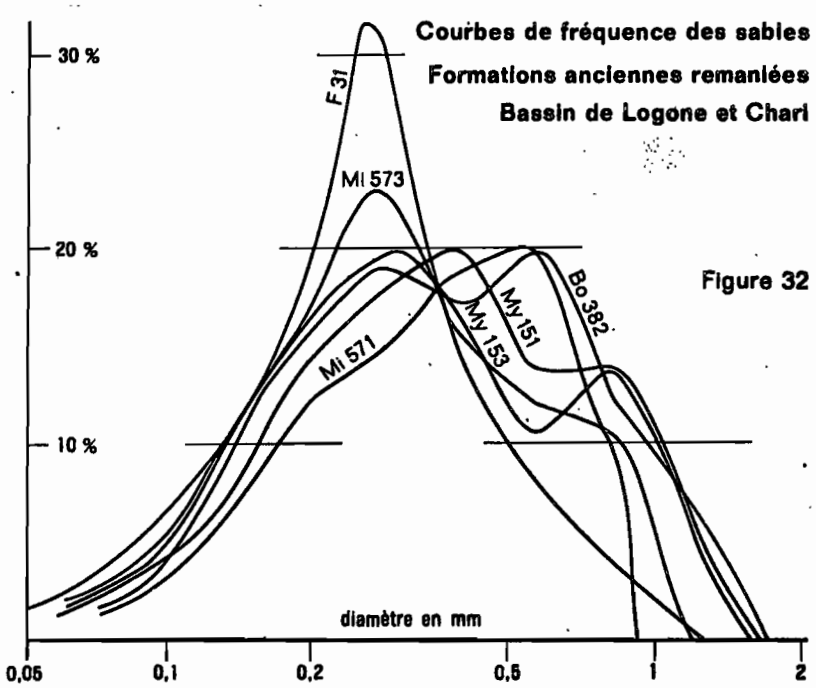


Figure 32

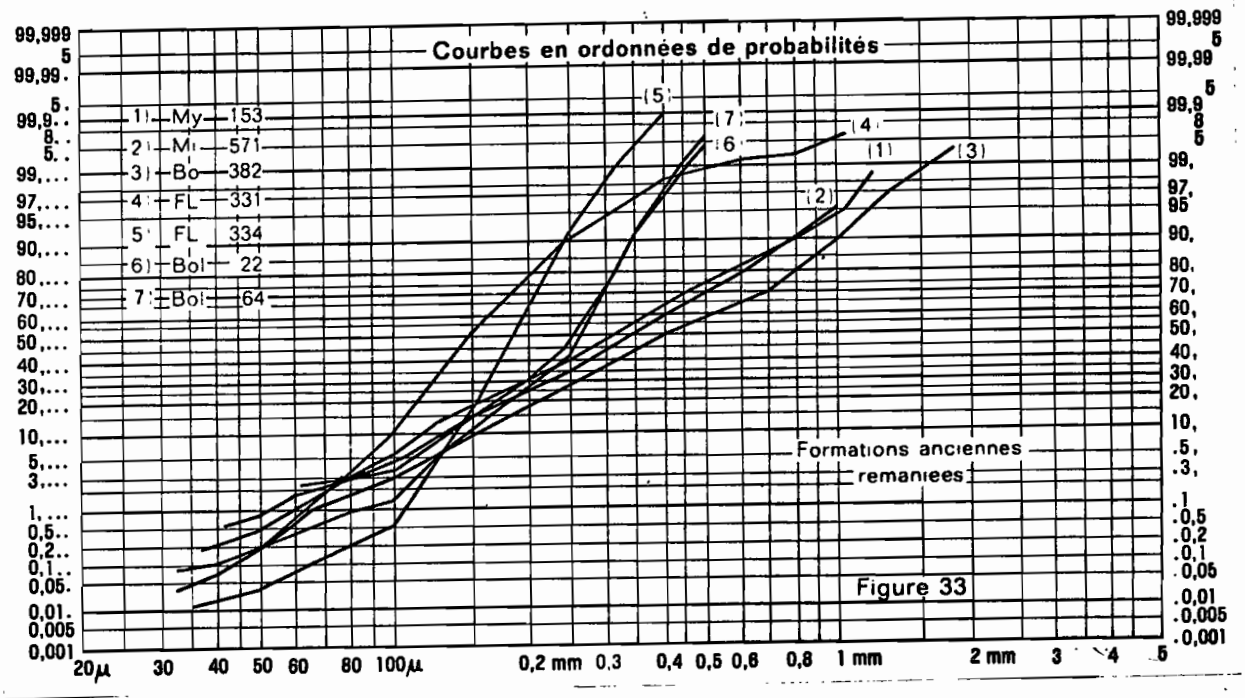


Figure 33

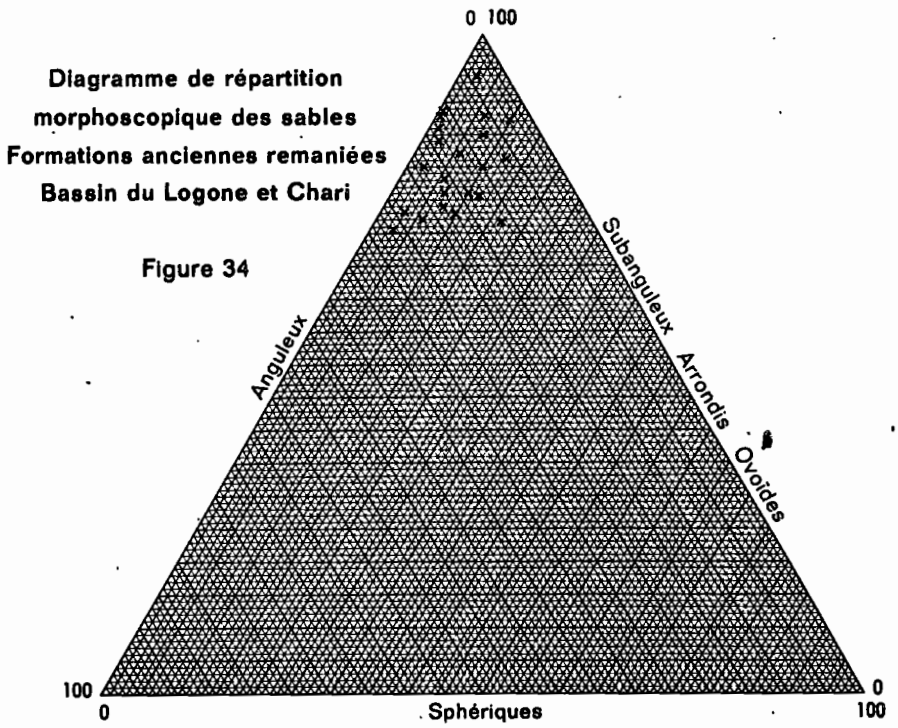


Figure 34

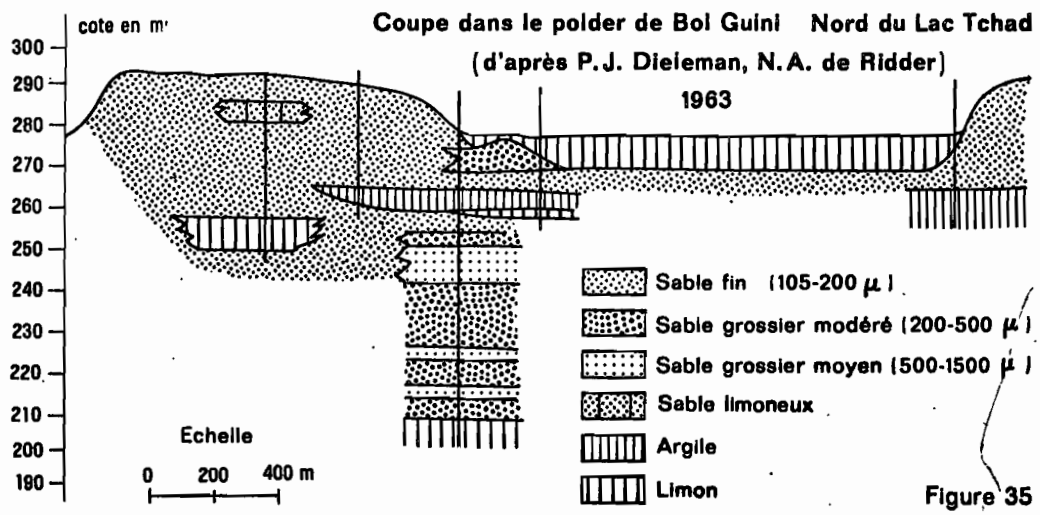


Figure 35

abondants. La figure 34 montre la faible dispersion morphoscopique de ces sédiments. Les courbes en ordonnées gaussiennes sont des droites très légèrement sinueuses à pente moyenne (fig.33).

Divers tableaux en annexe (tableaux n° 14 à 16) nous renseignent sur les critères de différenciation :

- Coloration assez constante.
  Echantillons de surface dans la gamme des 10 YR (1) allant du gris-brun foncé (4/2) au brun pâle (6/3) en passant par le brun-jaunâtre (5/4 - 6/6).
  Echantillons de profondeur souvent dans la gamme des 10 YR, mais aussi dans celle des 7,5 ou 5 YR allant de jaune brunâtre (10 YR 6,5/6) à jaune rougeâtre (5 YR 6/6 - 5 YR 5,5 5/8). A plus grande profondeur, vers 2 à 3 m, on passe à des bruns très pâles (10 YR 7/2 - 10 YR 7/3).

- Hétérométrie variable comprise entre 0,45 et 0,81 indiquant des sédiments très diversement triés. Bien à moyennement triés 0,4 - 0,6, mal triés 0,6 - 0,8.

- Indice de grossièreté (médiane) montrant des variations sensibles de sédiments assez fins à moyennement grossiers (0,140 à 0,310 mm).

- Indice d'usure faible à moyen (0,178 à 0,276).

- Eolisation faible. Le pourcentage de grains de quartz éolisés est peu élevé, compris entre 0 et 10%, rarement plus. Une partie de ces grains éolisés a, par ailleurs, été reprise secondairement par les eaux. Cette série a subi, lors d'une période aride antérieure à l'époque actuelle, un remaniement éolien important qui se traduit par l'apparition de microdunes orientées NS que l'on perçoit sur les photographies aériennes, notamment au nord de Massénya ou au NE de N'Gama (feuille I.G.N. de Melfi ...).

- Pourcentage de minéraux lourds moyen (0,5%), à l'exception des échantillons Bo 38 situés non loin des premiers contreforts du massif du Guéra (1,77-1,98%). Parmi ces minéraux lourds, on notera la place prise par la staurotide (0 à 42% , souvent supérieur à 20%), le disthène (6 à 42%, souvent supérieur à 20%), la zoisite (0 à 16%), la sillimanite, l'épidote verte ... aux dépens de la tourmaline, du zircon, du rutile encore parfois abondants. Le pourcentage des minéraux opaques est important, 50 à 60%. Il s'agit de produits ferrugineux : hématite, goethite.

La fraction argileuse de ces sédiments est souvent kaolinique. Il s'y ajoute un peu d'illite et des traces de goethite ou hématite (échantillons T 36-T 34-Mi 57). On peut observer aussi parfois des quantités importantes de montmorillonite (Bo 38-My 15).

Nous constatons donc une hétérogénéité assez grande de cette série

(1) A l'exception de l'échantillon T 361 qui fait partie d'une toposéquence : sol rouge (T 35), sol ocre (T 36), sol lessivé (T 34).

ancienne, hétérogénéité due :

- à une origine différente des sédiments qui peuvent provenir :
  - . des massifs eux-mêmes (massif central tchadien, contreforts de l'Adamaoua ...)
  - . de formations plus ou moins anciennes du Continental Terminal;
- à des remaniements et apports que le matériau a pu subir après sa mise en place (éolisation, arasion accompagnée d'apports ...).

b Nord et Est tchadien (nord du 13è parallèle).

Au nord du 13° de latitude et principalement sur la bordure Est et nord du Lac Tchad, vont s'observer des formations sableuses qui occupent une grande étendue remontant au-delà du 16° de latitude Nord tandis que, vers l'Est, elles vont se poursuivre jusqu'aux massifs du Ouaddaï.

Nous décrirons celles-ci dans deux régions limitées l'une de l'autre par la dépression du Bahr el Ghazal.

. La première de ces régions est constituée par la bordure Est et nord du Lac Tchad. Quelques kilomètres au nord de Massakory, en direction de N'Gouri, un système dunaire marqué par des rides importantes orientées NW-SE, va faire son apparition s'étendant sur toute la bordure du lac et, plus à l'Est, jusqu'à la dépression du Bahr el Ghazal. Les dénivellations entre dune et interdune sont importantes, pouvant atteindre ou même dépasser 15 à 20 m de hauteur à l'Ouest (bordure du lac), plus modestes vers l'Est.

Des sondages effectués près de Bol sur la rive nord du lac dans le polder de Bol-Guini en 1963, à la demande de la Communauté Economique Européenne par P.J. DIELEMAN et N.A. de RIDDER, ont montré que le sous-sol de ces régions était constitué schématiquement par des dépôts sableux, épais de 70 à 80 m où venaient s'intercaler des lentilles d'argiles de 5 à 10 m d'épaisseur qui semblent évoquer une vieille étendue lacustre. Sous ces sables à intercalations d'argile, apparaissent uniformément des argiles sur une épaisseur indéterminée, les forages n'ayant pas été poursuivis au-delà de 80 m. Les formations sableuses ci-dessus sont de granulométrie variable, fine à moyenne en surface (0,100 à 0,200 mm) avec des passages plus grossiers en profondeur (0,5 mm, 1,5 mm) - Figure 35.

. La seconde région s'étend du Bahr el Ghazal (nord d'Ati) aux piedmonts du massif du Ouaddaï. La région précédente se poursuit vers l'Est où elle constitue d'immenses étendues mamelonnées où le remaniement éolien perd de son importance. Celui-ci se manifeste alors par une multitude de rides orientées le plus souvent NS, aux faibles dénivellations atteignant rarement une dizaine de mètres. Au sud de la rivière Batha, ce remaniement éolien disparaît progressivement et devient peu visible, les rides de ce système prenant une amplitude alors très faible.

L'étude des forages effectués dans cette partie, notamment au ranch de l'Ouadi Riné, ou l'observation de puits à Haraz, révèlent des sables de couleur

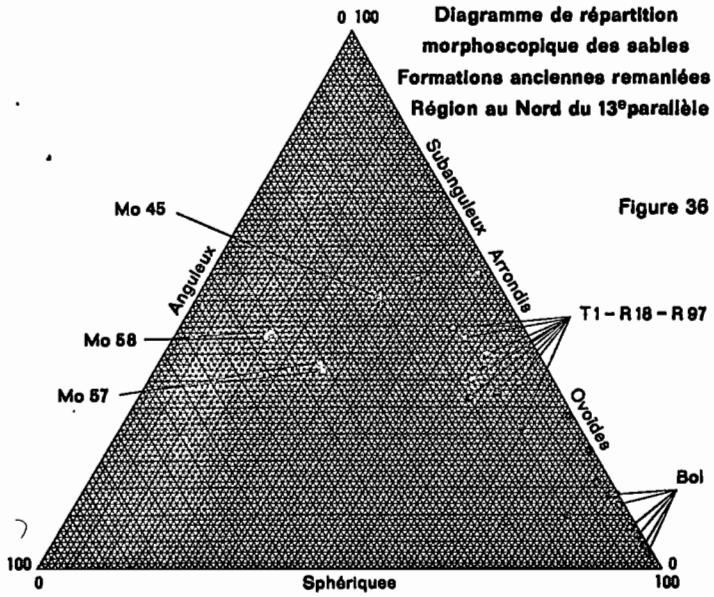
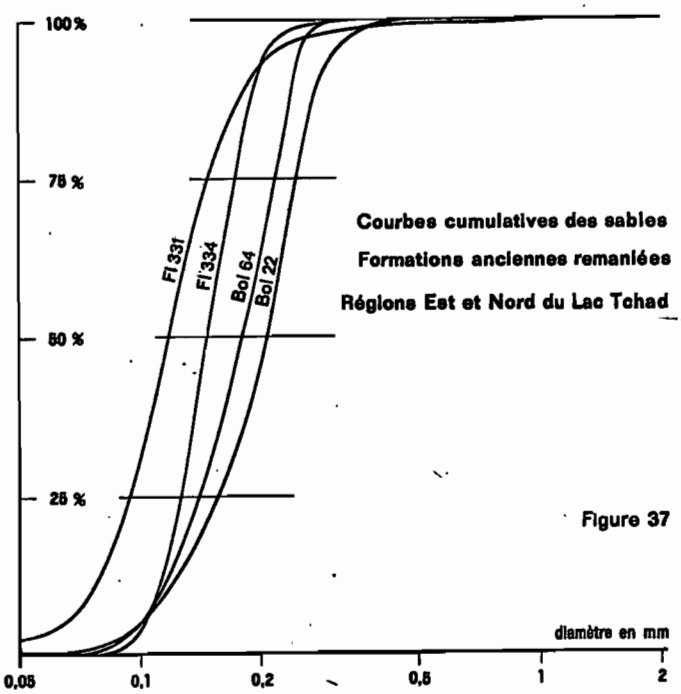


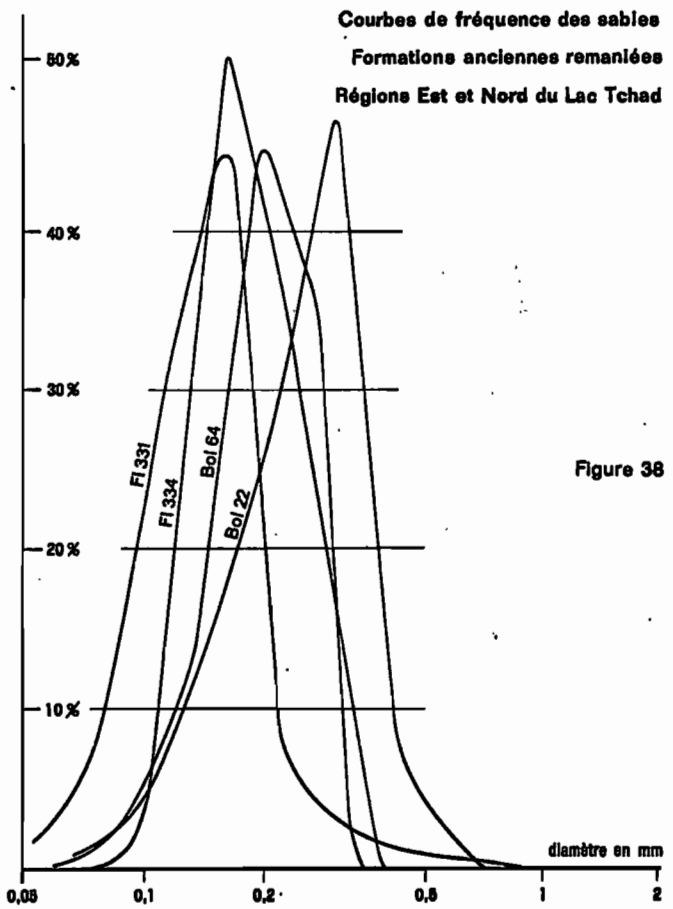
Diagramme de répartition morphoscopique des sables Formations anciennes remaniées Région au Nord du 13e parallèle

Figure 36



Courbes cumulatives des sables Formations anciennes remaniées Régions Est et Nord du Lac Tchad

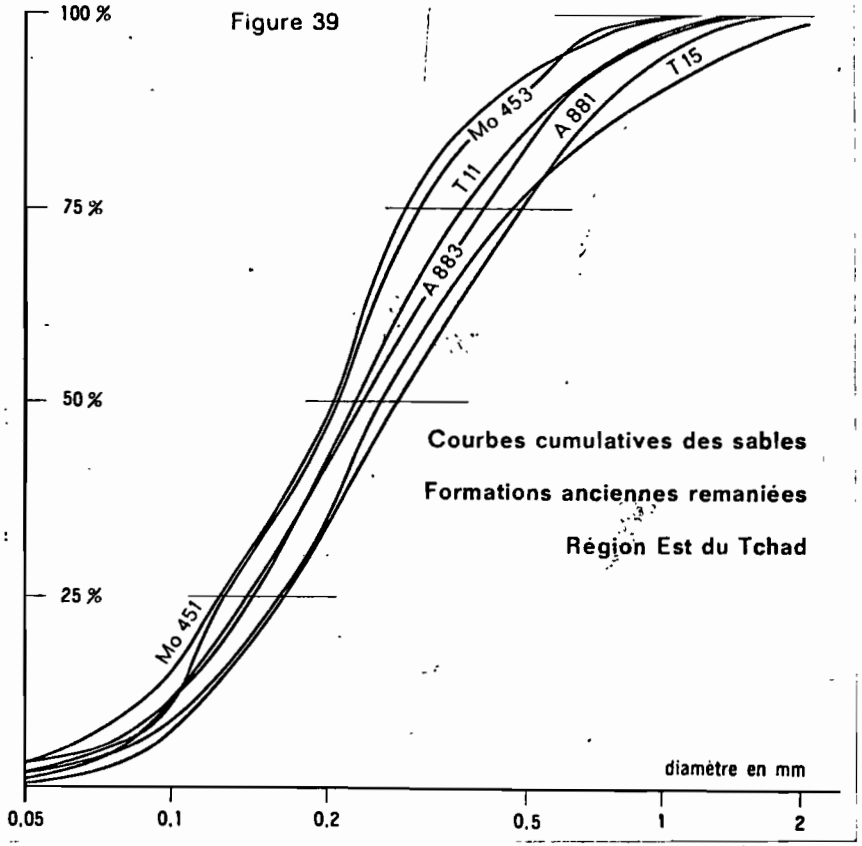
Figure 37



Courbes de fréquence des sables Formations anciennes remaniées Régions Est et Nord du Lac Tchad

Figure 38

Figure 39



Courbes cumulatives des sables

Formations anciennes remaniées

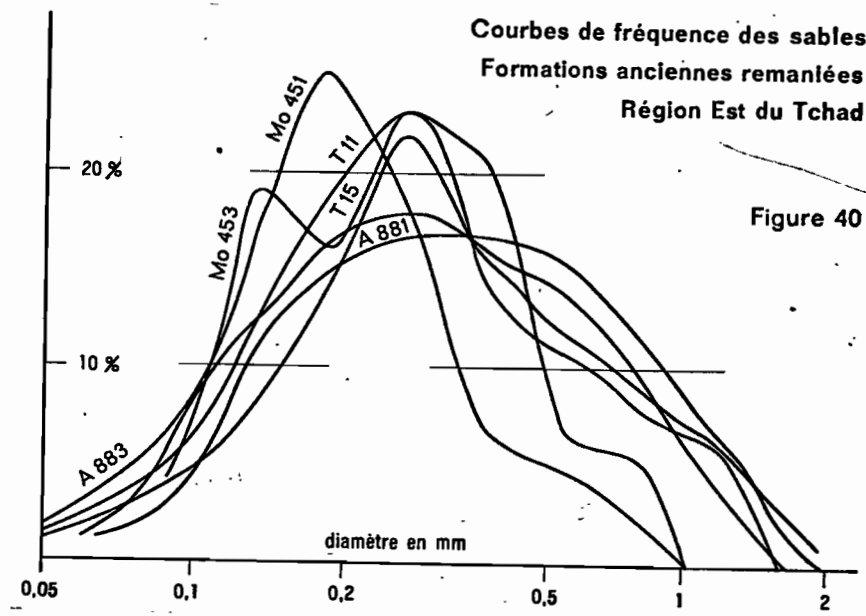
Région Est du Tchad

Courbes de fréquence des sables

Formations anciennes remaniées

Région Est du Tchad

Figure 40



Courbes en ordonnées de probabilités

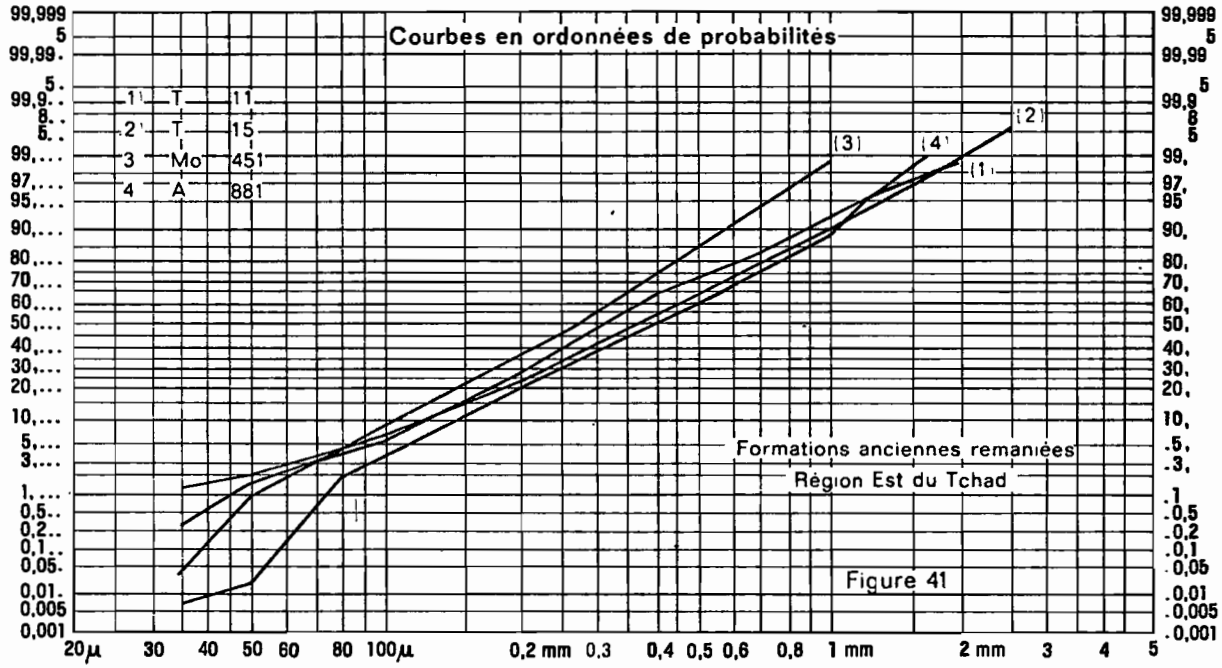


Figure 41

grise ou brun-rouge en surface, rouge, rose ou ocre en profondeur, blanche ou beige à partir de 3 à 4 m.

L'importance de cette série sableuse est assez mal déterminée, de l'ordre d'au moins une soixantaine de mètres. Faciès fin et grossier alternent. Ainsi, au ranch de l'Ouadi Riné, sous 2 à 3 m de sable brun-rouge, s'observe un niveau important à sable assez grossier parfois à cailloutis. A plus grande profondeur, se notent des alluvions rougeâtres ou ocre sableuses, parfois prises en masse et tendant alors à donner des grès friables (Am-Niellin, sud d'Am-Sak).

FLANDRIN signale à Haraz une cuirasse, d'origine détritique, d'environ 25 cm vers 50 m de profondeur. La nappe y est à 65 m dans des sables aquifères très grossiers (1 à 2 mm, parfois 3 à 5 mm).

Ces grandes surfaces mamelonnées sont morcelées en se rapprochant des massifs du Ouaddaï, par des étendues de "regs" au milieu desquels serpentent les anciennes vallées larges de plusieurs kilomètres et les cours actuels plus modestes de ces rivières intermittentes.

La comparaison des échantillons de cette série montre sa relative homogénéité. La figure 36 indique l'assez grande dispersion de répartition morphoscopique de ces sédiments où dominent les grains de quartz subanguleux, arrondis et éolisés. Ces derniers sont très abondants dans de nombreux échantillons, particulièrement ceux de Bol. Il y a une relative homogénéité pour une région donnée (Bol : 2,6 - Nord d'Ati : T 1, R 97, R 18). A l'inverse, les échantillons les plus méridionaux apparaissent les moins éolisés et contiennent une proportion importante de grains anguleux (MO 57, 58)(1).

Voici les caractéristiques de ces sédiments indiquées région par région. Dans les deux cas, il s'agit de dépôts sableux (fraction $< 2\mu$; rarement supérieure à 15%). Les sables sont quartzeux; il y a peu ou pas de feldspaths. Tableaux en annexe 17 à 19.

Bordure est et nord du Lac Tchad.

- Hétérométrie faible indiquant des sédiments très bien triés (0,22 à 0,31).
- Médiane comprise entre 0,100 et 0,205 mm.
- Indice d'usure et pourcentage de grains éolisés augmentant légèrement du Sud vers le Nord. L'indice d'usure passe de 0,662 à 0,716 (2) pour les horizons de surface et de 0,640 à 0,786 (3) pour ceux de profondeur.

---

(1) Ces échantillons situés dans la zone de confluence Batha-Melmélé-Bambam semblent avoir été fortement remaniés assez récemment.

(2) 0,662 75% d'éolisés 0,716 86% d'éolisés

(3) 0,640 71% d'éolisés 0,786 97% d'éolisés

Il y a de même augmentation du nombre de grains éolisés avec la profondeur dans certains profils.
Un nombre important de grains a été repris par les eaux. Ces quartz se présentent sous des formes rondes luisantes et sont plus ou moins ébréchés ou cassés.

- Coloration

  Echantillons de surface : dans la gamme des 10 YR brun plus ou moins clair (6/4 - 7/3) ou gris-brun (2,5 Y 6/2).
  Echantillons de profondeur : dans la gamme des 7,5 YR pour les formations dunaires où la couleur brun-rouge est assez marquée (6/6), dans celles des 10 YR ou 2,5 Y pour les interdunes brun-jaunâtre (7/6) ou (5,5/2).

- Pourcentage de minéraux lourds faible : 0,3 à 0,4%, très faible : 0,1%.

  Zircon (33 à 70%) et tourmaline (11 à 40%) en quantité importante. Peu ou pas de staurotide ici comme on en avait trouvé dans les bassins du Logone et Chari, mais épidote verte assez abondante (4 à 13%), un peu de zoïsite (0 à 7%), sillimanite, sphène, hornblende,...

Les courbes cumulatives (fig.37) sont toutes fortement redressées, à faciès légèrement parabolique tendant vers le type logarithmique indiquant des sédiments en fin d'évolution.

Les courbes de fréquence (fig.38) sont de type éolien (courbes très redressées), ce que confirment les quartz éolisés très abondants.

Région Est du Tchad

- Hétérogénéité élevée en se rapprochant des massifs (MO 58 - A 88 : 0,75 à 0,83). Sédiments moyennement ou mal triés ailleurs. Hétérométrie de surface 0,50 à 0,67. En profondeur, cette hétérométrie tend à augmenter.
- Médiane des échantillons de surface assez constante, peu différente de 0,200 - 0,25 mm. En profondeur, la grossièreté croît en même temps que peuvent se présenter des niveaux plus graveleux (échantillon T 17).
- Indice d'usure et pourcentage de quartz éolisés croissant vers le Nord.

  Indice d'usure en surface : 0,232 au Sud (MO 581) pour un pourcentage de quartz éolisés de 15%, à 0,660 au Nord (A 881) pour un pourcentage de quartz éolisés de 80%. En profondeur, éolisation et indice d'usure sont légèrement plus élevés. Ici aussi, une forte proportion de grains de quartz éolisés a été reprise par l'eau.

- Coloration

Echantillons de surface : dans la gamme des 10 YR brun assez foncé 5/3 à brun clair 7/4. Quelques exceptions dans celle des 7,5 YR.

Echantillons de profondeur : souvent dans la gamme des 7,5 YR brun (5/6) à jaune-ocre (7/8). A plus grande profondeur, sable très clair 2,5 Y 8/2 ou 8/4.

On trouve également des échantillons dans la gamme des 10 YR brun-jaune clair (7/6) à jaune clair (8/6).

Quelques échantillons se rangent dans la gamme des 5 YR. Tonalités brun-rouge, jaune rougeâtre (6/8).

- Pourcentage de minéraux lourds assez faible, le plus souvent inférieur à 0,5%.

Zircon (22 à 72%), tourmaline (2 à 25%) dominent, accompagnés d'épidote verte (0 à 32%), de rutile et dans certains endroits où des remaniements mêlés d'apports ont pu se produire, de disthène (0 à 20%), de hornblende (0 à 10%) ... (échantillons MO 57, T 11 ...).

Les courbes cumulatives (fig.39) sont à faciès parabolique ou plurimodal. Certaines courbes présentent un point d'inflexion. Leur allure est donc diverse.

Les courbes de fréquence (fig.40) sont très différentes de celles des échantillons prélevés au voisinage du Lac et de type fluviatile ou éolo-fluviatile. Les courbes en ordonnées de probabilité sont des droites parfois légèrement sinueuses à pente moyenne (fig.41).

L'examen de la fraction argileuse indique pour ces deux régions le plus souvent un mélange de montmorillonite et de kaolinite où la première peut dominer. On note aussi de l'illite en plus faible quantité.

c) Conclusions sur les formations anciennes remaniées.

Au Sud du 13è parallèle, les sédiments qui les composent sont à dominance sableuse. Ces sables sont presque uniquement des quartz de type fluviatile. Le pourcentage élevé de subanguleux, l'allure des courbes de fréquence font penser à des sédiments déposés par des cours d'eau dans un lac où ils auraient été ensuite remaniés par des courants. Des quartz éolisés, peu abondants, existent cependant, dont certains repris par les eaux. La phase d'éolisation est visible sur le terrain où des microdunes, aujourd'hui fixées, se perçoivent encore. Dans certains endroits, elles semblent avoir été arasées par de forts courants.

Les minéraux lourds tirent donc leur origine à la fois d'ensembles granitiques et de séries métamorphiques, mais surtout de matériaux du Continental Terminal.

Le passé de cette série peut donc se définir ainsi :

-dépôt en milieu lacustre de sédiments provenant des massifs de l'arrière-pays et surtout de vieilles séries sédimentaires et formant le premier delta du Chari (triangle Miltou-Bongor-Bokoro);

-remaniement éolien lors d'une phase aride après l'exondation,

-second remaniement par les eaux pouvant localement être accompagné d'apports.

Au nord du 13è parallèle, le pourcentage des sables est également élevé (80 à 95%). Il s'agit uniquement de quartz. Les éléments éolisés dominent, dont une partie importante reprise par les eaux. On trouve également des sub-anguleux, une fraction faible d'anguleux et une plus faible encore d'arrondis. Ceci fait penser à une origine fluviatile comme le dépôt de sédiments dans un lac où pouvaient subsister de forts courants. Ce dépôt aurait été suivi d'un remaniement éolien très important après exondation. Il semble, en fait, que le déroulement chronologique des alternances n'ait pas été aussi simple.

Nous avons vu que certains grès anciens (Paléozoïque, Continental Terminal ...) dont on retrouve des lambeaux dans l'intérieur du massif du Ouaddaï, se présentaient comme assez fortement éolisés. La série sableuse que nous avons décrite ici tire son origine du démantèlement de ces vieilles formations sédimentaires préalablement éolisées. Après sa mise en place dans la cuvette tchadienne, cette série fut ensuite remaniée par les vents pour donner les alignements dunaires que nous voyons de nos jours. Ce remaniement aurait été de moindre importance dans l'Est que sur le pourtour du lac, ce qui expliquerait la différence d'allure générale des courbes de fréquence (fig.38-40).

Cette série semble, en fait, avoir été plusieurs fois reprise alternativement par les vents et les eaux. Ainsi sur le plateau de Mao (au nord du Lac Tchad) où l'ancien système dunaire a disparu presque totalement, des actions éoliennes plus récentes se marquent par de légers monticules fixés par la végétation graminéenne. Mieux encore, on observe parfois des alignements peu accusés de dunes longitudinales perpendiculaires à l'ancien système. Au nord d'Arada (16è parallèle), des remaniements éoliens sont également visibles, mais le tapis graminéen, alors très discontinu, permet de supposer ici que le phénomène est encore actuel.

On notera également pour cette série :

- la faible teneur pondérale en minéraux lourds, le pourcentage souvent élevé de minéraux du 1er groupe;
- l'éolisation croissante des sédiments du Sud vers le Nord.

3.4.1.2. Série sableuse récente

Indépendamment de cette série sableuse ancienne qui apparaît comme un faciès dû à un remaniement plus ou moins grand du Continental Terminal, existe une série sableuse récente observée le plus souvent en couloirs étroits exondés au milieu de vastes dépressions comblées par des alluvions lacustres ou marécageuses. Nous la trouvons dans la fosse inter Logone-Chari au nord de Laï, dans celle qui s'étend à l'Est de Fort-Archambault où coulent les bahrs Salamat, Keïta et Aouk. Elle fait son apparition plus au Nord, au sud et à l'Est de Fort-Lamy. Dans l'Est du Tchad, elle occupe des surfaces restreintes et se localise dans les vallées qui courent entre les "regs" ou les étendues mamelonnées sableuses de la série précédente, dont elle tire principalement son origine.

Cette série peut prendre différents faciès et la granulométrie des sédiments qui la composent est de plus en plus fine au fur et à mesure que l'on remonte du Sud vers le Nord en même temps que l'éolisation est plus marquée.

a) Bassin du Logone et Chari - Bassins des bahrs Salamat, Keïta et Aouk.

. Faciès grossier à cailloutis et sables quartzeux et feldspathiques.

(Arrière-pays, zone Eré, Lac Boro, rive droite du Logone entre Bongor et Laï, dépression des bahrs Salamat, Keïta, Aouk).

La série sableuse récente, épaisse de 4 à 5 m, exceptionnellement plus, débute ici par des graviers roulés d'origine pegmatitique, granitique ou schisto-gréseuse marquant une érosion plus violente sur les massifs anciens, qu'on peut admettre être due à une nouvelle dénudation de ces régions. Les graviers forment des dépôts superficiels que l'on observe parfois sur les argiles à nodules calcaires dans les zones actuelles et anciennes de passage des eaux d'inondation (cf. 3.4.2.2., série argilo-sableuse à nodules calcaires, p. 86).

L'arrière-pays (pénéplaine de Kaélé, triangle Pala-Tikem-Léré ...) est recouvert, en de nombreux endroits, d'un cailloutis quartzeux abondant qui se retrouve dans des profils de sols formés postérieurement.

On peut voir dans ce cailloutis l'homologue des graviers qui surplombent la série argilo-sableuse dans les plaines d'inondation du Logone et des bahrs Salamat, Keïta et Aouk.

Des sables grossiers, riches en feldspaths blanchis, constituent la suite de cet alluvionnement graveleux qui se termine généralement vers 3 à 4 m par des sables quartzeux grossiers. Ces sables forment actuellement les buttes partiellement exondées dans la zone centrale de déversement d'Eré et du Lac Boro et sur la rive droite du Logone, les alignements orientés NS où se tiennent les villages. Les alignements orientés NE - SW de la cuvette du Salamat apparaissent analogues. Les profils de sols et les puits révèlent une composition graveleuse et feldspathique, alors que les formations anciennes sont plus uniquement quartzeuses et homogènes.

La coupe suivante montre les modes de dépôts de cette série dans les plaines d'inondation (fig.42).

Les sédiments de cette série sont donc à dominance de quartz, mais parfois avec un pourcentage élevé de feldspaths en profondeur (15-20%) ainsi que de graviers. Les autres caractéristiques sont les suivantes (tableaux en annexe 20 à 22) :

- hétéronétrie généralement élevée augmentant en profondeur, indiquant des sédiments mal à très mal triés (0,67 à 0,95);
- grossièreté des sédiments moyenne à forte en surface (0,223 mm - 0,275 mm), très élevée dans les échantillons profonds (0,435 mm - 0,560 mm);
- indice d'usure (0,132 à 0,194) et éolisation assez faibles. Dominance de quartz subanguleux sauf dans les échantillons T 4 où s'observe un pourcentage élevé d'éolisés dont une fraction a été reprise par l'eau (10 à 30% d'éolisés pour un indice d'usure variant de 0,242 à 0,350) (1);
- coloration

  échantillons de surface : dans la gamme des 10 YR : gris 5/1 ou gris-brun 5,5/2.

  échantillons de profondeur : 10 YR : beige, brun pâle, gris-brun pâle (7/4, 6/2, 6/5) avec taches rouille (7 YR 6/6) ou grises (7,5 YR 7/0);
- pourcentage de minéraux lourds relativement élevé, inférieur à 1%, sauf dans les échantillons T 39 (1,20 - 1,30%);

  zircon - tourmaline - rutile assez peu abondants dans les échantillons T 4 - T 46. Pourcentage élevé de staurotide, moindre de disthène, zoïsite, sillimanite, épidote verte, hornblende, biotite (groupe 2 dominant).

Les courbes cumulatives sont à faciès paraboliques ou mixtes, parabolique (fraction fine), hyperbolique (fraction grossière). Elles sont souvent

---

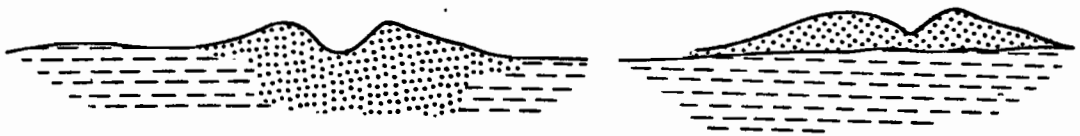
(1) Les sédiments qui composent ces échantillons T 4 sont les produits probables du démantèlement d'anciens plateaux gréseux du Sud Ouaddaï, dont les quartz avaient subi une éolisation préalable.

Coupe schématique montrant les modes de dépots les plus fréquents de la série sableuse récente

1° Creusement du lit dans les argiles préexistantes.
Cas le plus fréquent (Dépression du Moyen Logone, dépression des bahrs Aouk - Keita - Salamat)

2° Implantation du lit sur les argiles (Sud de Fort-Lamy)

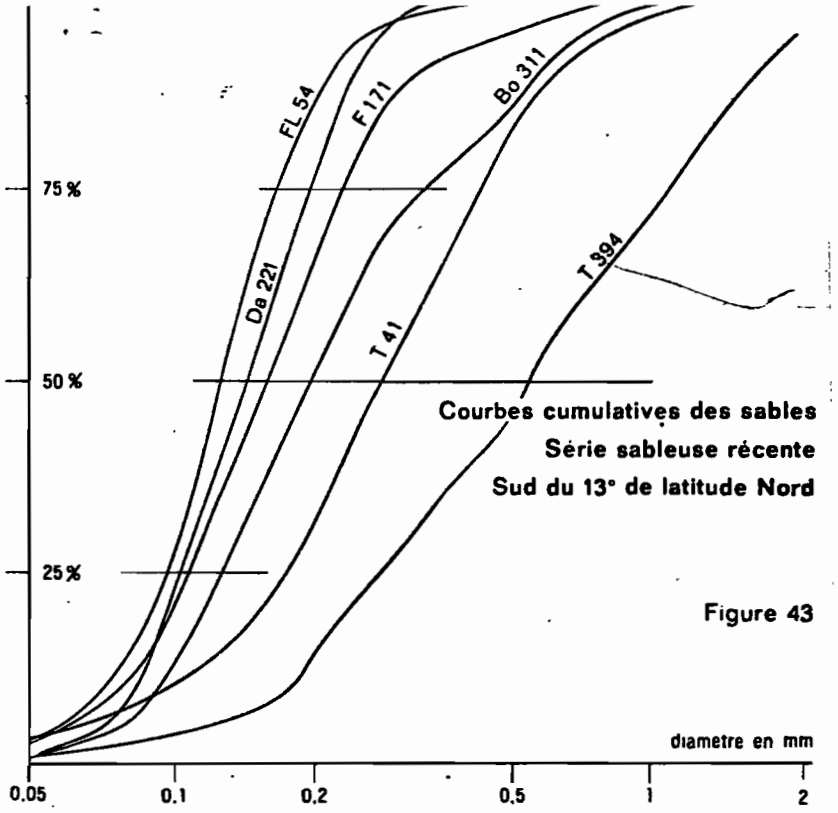
Dans les deux cas formation de bourrelets sableux (série sableuse récente)



série sableuse récente

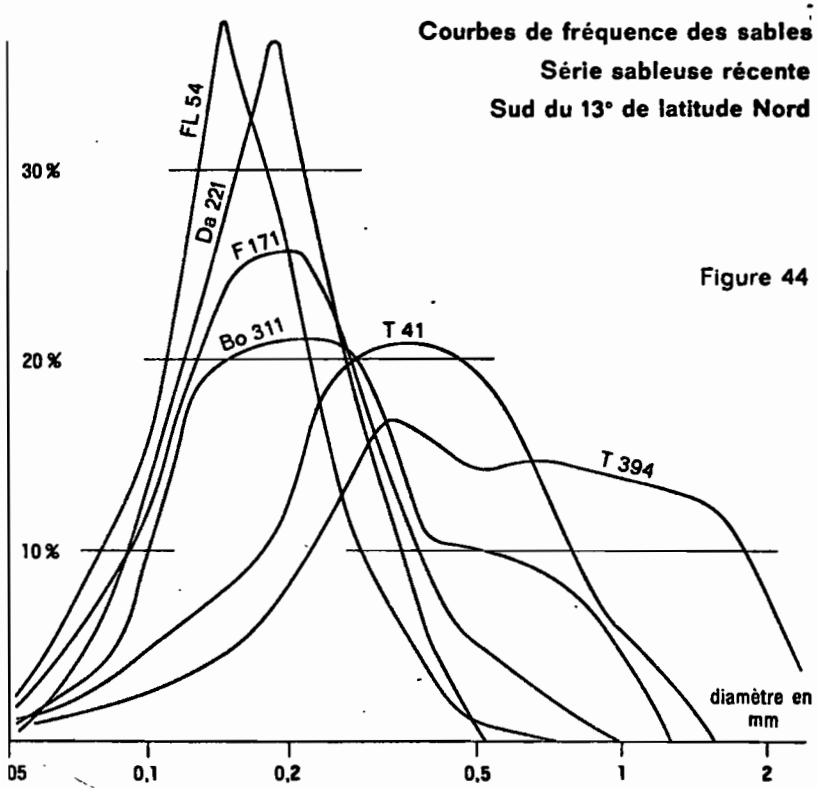
série argilo-sableuse à nodules calcaires

Figure 42



Courbes cumulatives des sables
Série sableuse récente
Sud du 13° de latitude Nord

Figure 43



Courbes de fréquence des sables
Série sableuse récente
Sud du 13° de latitude Nord

Figure 44

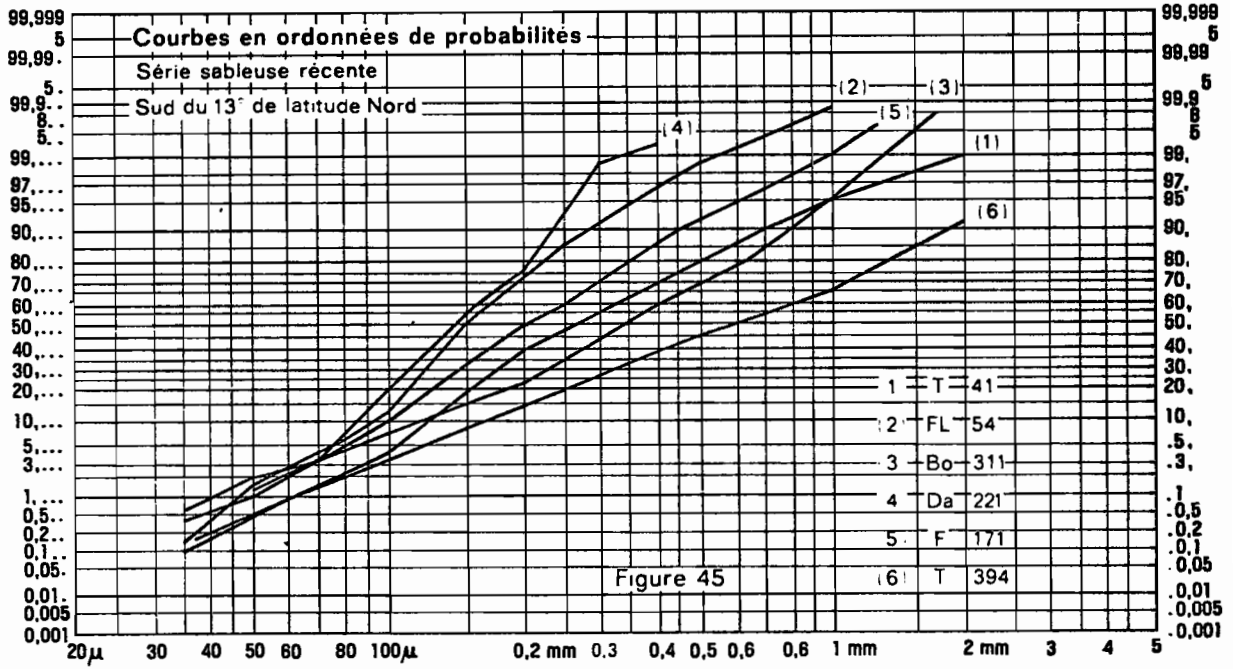


Figure 45

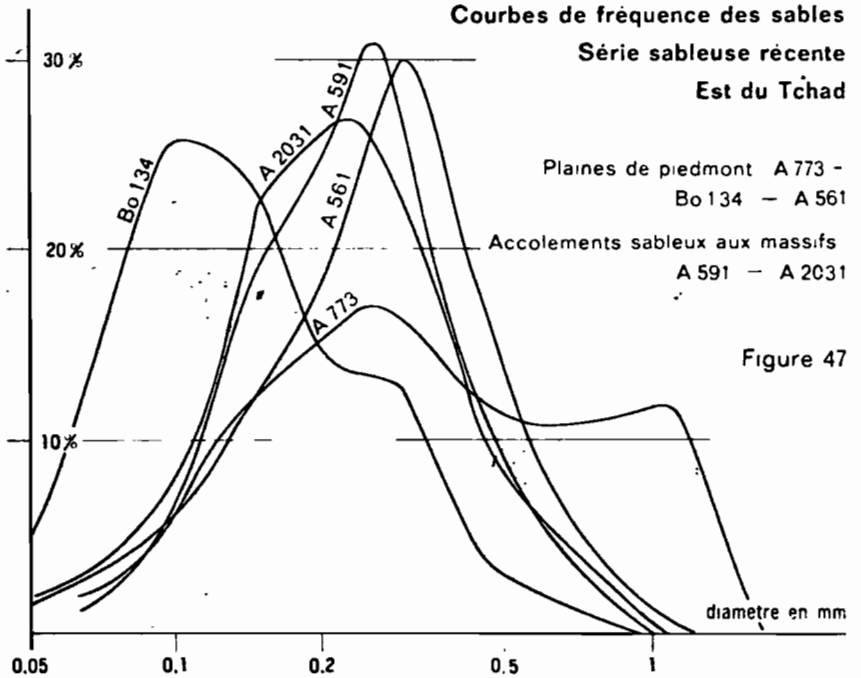


Figure 47

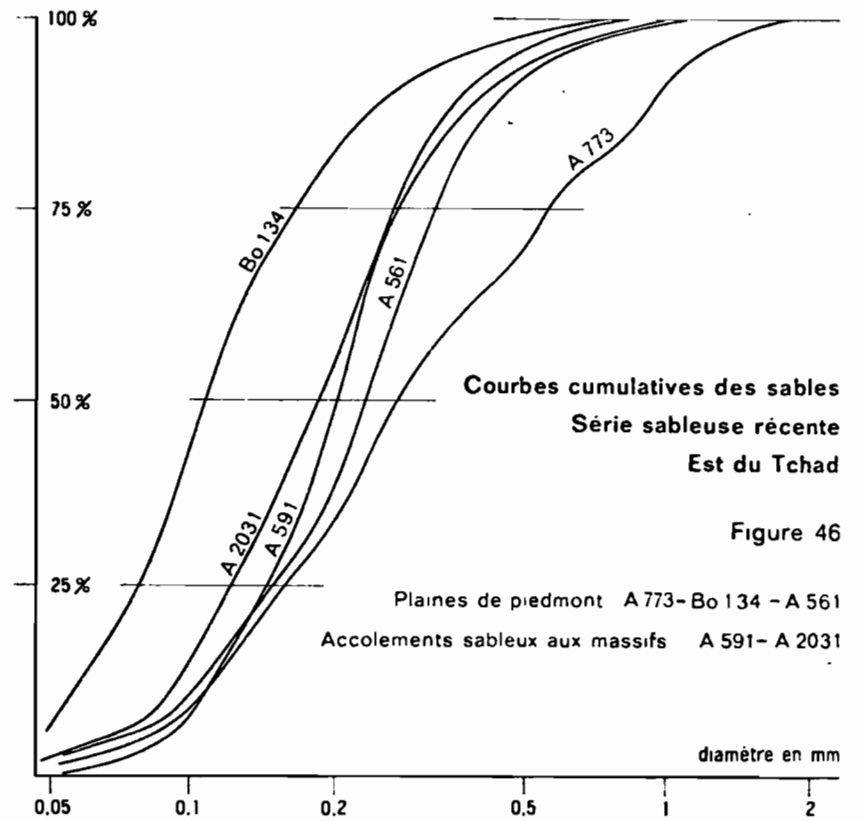


Figure 46

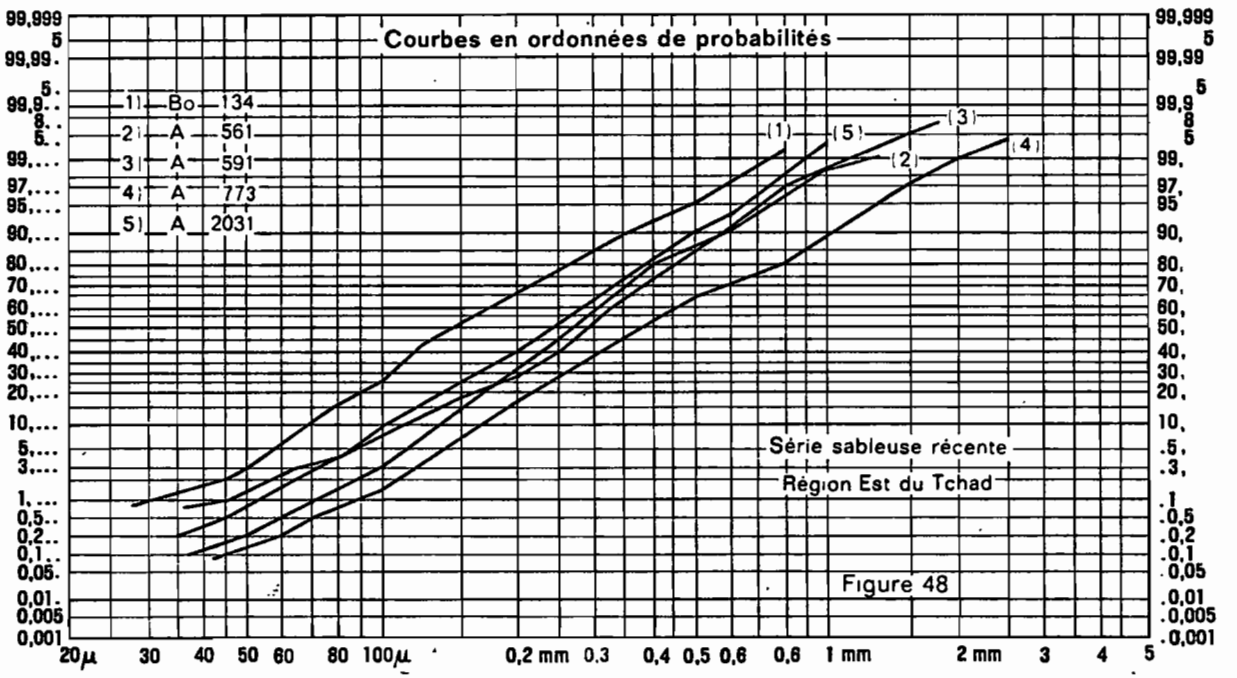


Figure 48

sinueuses et apparaissent pluri-modales (mélanges de stocks sédimentaires différents malgré des écarts entre l'hétérométrie et l'indice de Krumbein faibles) - Figure 43, échantillons T 41 - T 394.

Les courbes de fréquence très étalées à plusieurs maxima, sont caractéristiques de sédiments fluviatiles (fig.44). Les courbes en ordonnées de Gauss sont des droites à pente moyenne plus ou moins légèrement sinueuses (fig.45).

La fraction argileuse est composée de kaolinite dominante. L'illite est en plus faible quantité.

. Faciès fin

Ce faciès est composé à l'inverse du premier de sédiments fins à dominance quartzeuse auxquels peut se mêler une fraction micacée importante. Les feldspaths sont rares ou absents. Cette série s'observe au sud du Lac Tchad dans une zone qui apparaît comme un second delta du Chari, au sud du Lac Fitri dans l'ancien delta du Batha de Laïri, dans ce lac ou dans un lac commun que formaient celui-ci et le Lac Tchad réunis, dans la zone de confluence ancienne Bahr Erguig, Chari ...

- Confluence ancienne, Bahr Erguig-Chari -

Elle se situe à l'ouest de Massenya où une zone déprimée a été ici comblée progressivement par des alluvions fines issues du Bahr Erguig. Il est également résulté de la confluence de ces deux fleuves à Bougounène des apports sableux dans la dépression inter Logone-Chari. Ceux -ci constituent les bourrelets d'anciens défluents dans la région de Maïlao - Logone Gana - Zynado, et ont recouvert en nappe une partie du "Yaéré" au Cameroun. A l'inverse des suivants, ces sédiments ne présentent pas de traces d'éolisation.

- Région nord et NE de Fort-Lamy (2ème delta du Chari) -

Elle est caractérisée par une topographie relativement plane où se perçoivent cependant de multiples buttes sableuses ennoyées dans des sédiments argilo-sableux ou argileux. Les dénivellations entre buttes et dépressions sont relativement modestes, quelques mètres.

Ces buttes se dispersent en un éventail dont la base serait située au voisinage de Dourbali. On distingue donc 3 types d'orientation :

- NW - SE comme les alignements dunaires des rives Est et nord du lac (coté ouest).
- NS au centre.
- SW - NE (côté Est). Ces dernières, très étendues s'étirent sur plus de 100 km, vont rejoindre les affleurements granitiques de Moïto.

Les formations sableuses ont dans cette région, une épaisseur difficile à apprécier puisqu'il s'agit souvent de sables des formations anciennes

repris localement. Sur la bordure immédiate du lac, cette série est interstratifiée de dépôts argileux peu épais provenant de fluctuations lacustres.

Ces sédiments sableux, assez fortement éolisés, sont de couleur diverse : beige clair, beige-rosé, brun clair ou parfois plus foncée dans des sols où l'hydromorphie commence à se faire sentir, favorisant l'accumulation de matière organique.

- Bordure sud et SW du Lac Fitri (ancien delta du Batha de Laïri) -

La série récente occupe ici une étendue plus restreinte que celle qui s'étend au nord et à l'Est de Fort-Lamy. Elle a été postérieurement remaniée par les vents et se présente sous forme d'ondulations constituant un système dunaire d'orientation NE - SW.

Les sédiments qui composent ce faciès sont essentiellement sableux. La fraction argileuse est faible, 0 à 5% en surface, 10 à 15% en profondeur. L'examen des graphiques et des tableaux en annexe (tableaux 23-25) nous apporte une vue d'ensemble sur le faciès fin de cette série récente.

- Hétéronétrie : sédiments généralement assez bien triés (0,43 à 0,60) à quelques exceptions près (échantillons BO 31) parfois très bien triés (F 21, F 15, FL 5 ... 0,23 à 0,27).
- Grossièreté faible. Médiane le plus souvent inférieure à 0,150 mm.
- Indice d'usure, pourcentage de quartz éolisés.
  Ils augmentent du Sud au Nord, pour atteindre un maximum au Nord et NE de Fort-Lamy.

	Indice d'usure	éolisés %
Sud de Fort-Lamy	0,150 - 0,250	0 à 6
Nord et NE de Fort-Lamy	0,450 - 0,600	40 à 60

Dans l'Est, sensiblement à la même latitude que Fort-Lamy, l'éolisation est plus faible, l'indice d'usure moins élevé (BP 31 - BO 35 : 17 à 23% d'éolisés pour un indice d'usure variant de 0,256 à 0,336). Les quartz anguleux sont peu abondants, de même que les arrondis, la dominance revenant aux subanguleux ou suivant la latitude aux éolisés. Une partie plus ou moins importante de ces derniers a été fréquemment reprise par les eaux.

- Coloration : les échantillons sont pratiquement tous dans la gamme des 10 YR à quelques exceptions près trouvés en profondeur (1).

  La tonalité varie pour :

  - - les échantillons de surface, du gris foncé (4/1) au brun pâle en passant par des bruns plus ou moins intenses.
  - les échantillons de profondeur, du brun jaunâtre foncé

(1) Il s'agit d'échantillons brun jaunâtre plus ou moins clair : 7,5 YR 5,5/6 - 5,5/8.

(4,5/4) au brun très pâle (7,5/3) avec pour intermédiaire des bruns diversement intenses (6/4).

- Minéraux lourds

Dominance des minéraux lourds du groupe 2 dans la partie sud où s'observent en assez grande abondance : staurotide (0 à 34%, souvent supérieur à 20%), épidote verte (4 à 18%), roïsite (0 à 28%), disthène (6 à 12%), sillimanite (6 à 14%), hornblende (0 à 14%).

Au nord du parallèle de Fort-Lamy, la dominance revient au 1er groupe ou bien il y a codominance entre les groupes 1 et 2 : zircon (12 à 44%), tourmaline (4 à 22%), disthène (2 à 28%), épidote verte (4 à 24%).

- Courbes cumulatives. Elles sont de faciès divers, souvent mixtes (parabolique et hyperbolique) et tendent fréquemment vers un type logarithmique en étant généralement très redressées, à l'exception de quelques unes d'entre elles (échantillons My 25, T 3', BO 31), plus étalées et parfois sinueuses (mélange de sédiments d'origine différente) - Figure 43.

- Courbes de fréquence. Elles sont, le plus souvent, à un seul maximum et très redressées et sont caractéristiques soit de dépôt de plages (F 21 - F 15), soit de matériau ayant subi un remaniement éolien intense (FL 5, Da 22,...) qui se manifeste par un indice d'usure et un pourcentage d'éolisés élevés. Il est judicieux de penser qu'il s'agissait initialement de matériau très bien trié avant que ne se produise l'action éolienne (fig.44). Ainsi les échantillons BO 35 représentant les alignements dunaires de la bordure sud et SW du Lac Fitri ont-ils des courbes de fréquence beaucoup moins redressées que celles des échantillons F 21, F 15 malgré un pourcentage d'éolisés supérieur.
Certains échantillons présentent des courbes de fréquence assez étalées à 1 ou plusieurs maxima, caractéristiques alors de sédiments fluviatiles beaucoup moins bien triés qui ne sont pas sans rappeler les courbes du faciès grossier.

- Courbes en ordonnées gaussiennes. Ce sont des droites diversement sinueuses, de pentes moyennes à fortes, dont les plus redressées présentent une légère distorsion à leurs extrémités (fig.45).

- Fraction argileuse. Elle est fréquemment à dominance de montmorillonite à laquelle s'ajoutent des quantités importantes de kaolinite et souvent moindres d'illite.

b) Région est du Tchad

. Plaine de piedmont du massif du Ouaddaï.

La série récente y occupe des surfaces restreintes et se localise dans les vallées qui coulent entre les "regs" ou les étendues mamelonnées sableuses

desquelles elle tire principalement son origine. Les zones de plus grande extension se situent le long du Batha, de la Bitéa, des ouadis Chao, Enne, Adad ... L'épaisseur de cette sédimentation peut atteindre exceptionnellement une dizaine de mètres; le plus souvent, elle est de l'ordre de 1 à 2 m. Au voisinage des massifs de sable ancien dans les zones planes, il devient souvent très difficile de dire si nous avons affaire à la nouvelle sédimentation ou à l'ancienne plus ou moins arasée. Rien ne subsiste du remaniement éolien ancien, si ce n'est çà et là des monticules sableux témoins de 5-6... 10 m de hauteur qui surplombent les sables arasés.

La pénétration de cette série récente dans l'intérieur des ensembles mamelonnés de sable ancien est cependant parfois très visible. Les parties arasées entre les mamelons sont alors recouvertes de cailloutis quartzeux empruntés aux "regs" voisins, auxquels se mêlent des dépôts argileux, argilo-sableux plus récents.

Dans cette région, la série récente présente une grande variabilité (tableaux 26 à 28 en annexe) :

- Hétérométrie comprise entre 0,45 et 0,70. Sédiments donc très diversement triés.
- Médiane moyennement élevée, à l'exception des échantillons B 13 (0,106-0,146 mm), comprise entre 0,23 et 0,29 mm.
- Indice d'usure et éolisation croissant avec la latitude, à l'exception des échantillons A 77 (0,232-0,260). Pour les échantillons de surface, on passe de 0,318 (28% d'éolisés) à 0,628 (70% d'éolisés) dans l'échantillon A 561 peu remanié (apports colluviaux de sable de la série ancienne).
- Pourcentage de minéraux lourds différemment élevé, mais inférieur à 1% dans les exemples cités.
  - 0,20 - 0,35% dans les échantillons tirant leur origine de la série ancienne (A 56) ou des grès paléozoïques de l'Ennedi (A 122). Dans ce dernier cas, le pourcentage des minéraux du 1er groupe (zircon, tourmaline, rutile) est supérieur à 50%.
  - 0,35 - 0,90% dans les échantillons provenant de l'érosion des massifs granitiques où se note alors la présence de hornblende verte (1) en assez grande abondance (26 à 71%).
- Coloration dans la gamme des 10 YR, à l'exception des échantillons Bo 13 situés en zone inondée et plus gris-brun en surface (2,5 Y 5/2), gris-brun clair en profondeur (2,5 Y 6,5/2).
  Echantillons de surface : brun plus ou moins foncé (5,5/4, 6/3, 6/4).
  Echantillons de profondeur : brun plus ou moins clair (6,5/2, 7,4 ...).

---

(1) J. SONET (1963). L'auteur signale des granites à hornblende verte qui font la transition entre le granite à biotite et les grano-diorites où la hornblende est également abondante.

Les échantillons MO 43 assez colorés sont également des sols où les phénomènes d'hydromorphie (action de nappe, engorgement) sont marqués.

- Courbes cumulatives le plus souvent sinueuses, à faciès pluri-modal (A 773) ou hyperbolique assez accusé (BO 134) - Figure 46,
- Courbes de fréquence révélant des mélanges. Elles sont souvent à plusieurs maxima et de type fluviatile (BO 13, BO 43, A 77) ou bien présentent des caractères éoliens assez marqués (A 56, A 122) - Figure 47.

  En ordonnées gaussiennes, les courbes sont des droites plus ou moins légèrement sinueuses de pente moyenne.
- Fraction argileuse. Illite dominante ou abondante associée à la montmorillonite (BO 132) ou à la kaolinite (A 773).

. Accolements sableux aux massifs granitiques.

Au voisinage des massifs du Ouaddaï ou dans l'intérieur de ceux-ci, se notent des ensembles sableux qui forment des accolements aux massifs granitiques et remontent les pentes ou ennoient des cirques. Ainsi à l'Est et au SW d'Abéché, s'élèvent plusieurs ensembles granitiques (Hadjer Ibéré, Tianga, Kiledja, Andéfou, Kannaga, Abougoudam ...) qui surplombent les "regs" et la dépression de l'ouadi Chao de plusieurs centaines de mètres. Ces massifs sont ennoyés dans des sédiments sableux jusqu'à 600-650 m d'altitude, soit 150 à 200 m au-dessus des "regs" ou de la vallée de l'ouadi Chao.

L'extension géographique de ces accolements est assez grande. On commence à les observer au nord du 12è parallèle (nord de Mongo et de Mangalmé). Ils se poursuivront ensuite jusqu'en Ennedi et au Tibesti.

Ces sables, qui apparaissent comme un remaniement éolien des sédiments de la série ancienne, semblent avoir subi celui-ci tout récemment; c'est ce que vont nous indiquer les différentes analyses habituelles (tableaux en annexe 29 à 31).

- Hétérométrie variant de 0,40 à 0,53. Sédiments bien à moyennement triés.
- Médiane 0,152 à 0,215 mm, sédiments fins à moyens.
- Indice d'usure et éolisation. Indice d'usure élevé dans tous les cas, variant très fortement en profondeur. Si l'on compare l'indice d'usure des horizons de profondeur, on constate une forte augmentation avec la latitude (0,464 à 0,724). L'éolisation suit une règle identique (44 à 88% d'éolisés).
- Minéraux lourds. Pourcentage variable (0,27 à 1,10%), mais toujours grande abondance de hornblende verte (28 à 56%), d'épidote verte (17 à 34%), zircon - tourmaline assez faible, rutile - disthène zoïsite faible, un peu de sillimanite, grenat, sphène, biotite.

- Coloration. Dans la gamme des 10 YR brun en surface (5/1, 6/4), brun-jaune en profondeur.

L'examen des courbes cumulatives montre des faciès mixtes très faiblement paraboliques ou hyperboliques tendant vers le type logarithmique (fig.46).

Les courbes de fréquence indiquent une éolisation déjà assez poussée du sédiment au cours de sa mise en place que confirme la présence de nombreux éolisés. La courbe A 2031, la moins nette, est aussi la plus méridionale. La comparaison avec les courbes de fréquence de la série ancienne dans cette même région est très parlante (fig.47 et 40 - N^{os} A 2031 - A 591 et n^{os} A 881 - A 883).

- Fraction argileuse voisine de celle donnée précédemment pour les plaines de piedmont.

c) Conclusions sur la série récente

Dans les bassins du Logone et Chari et des bahrs Salamat, Keïta et Aouk s'observent :

- un faciès grossier très sableux constitué par des sédiments mal triés dont le diamètre augmente en profondeur, où se note un pourcentage important de feldspaths et d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm. Il y a dominance de quartz subanguleux. Les grains éolisés sont en faible quantité.

Les courbes de fréquence indiquent des sédiments fluviatiles, ce qui concorde avec le mode de dépôts bien connu ici, puisque cette série s'observe en couloirs orientés constituant les bourrelets d'anciens cours d'eau, aujourd'hui disparus.

Parmi les minéraux lourds, on note, en plus du zircon, la présence de sillimanite, d'épidote verte, de disthène, de hornblende parfois très abondante.

- un faciès fin également très sableux et à médiane, souvent inférieure à 0,150 mm. Les sédiments sont bien triés et les courbes de fréquence très redressées indiquent soit des dépôts de plages, soit un matériau ayant subi un fort remaniement éolien. Les quartz éolisés augmentent du Sud vers le Nord. Une certaine quantité de ceux-ci a été reprise par les eaux.

Les minéraux lourds du 2ème groupe dominent au sud de Fort-Lamy (staurotide, épidote verte, zoïsite, disthène, sillimanite, sphène ... et hornblende), tandis qu'à l'Est de cette ville, le 1er groupe a une place plus importante.

Ces sables constituent, à l'Est de Fort-Lamy, des buttes diversement alignées qui apparaissent comme les bancs de sables ou les îles de deltas anciens du Chari, du bahr Erguig, du Batha de Laïri ... Ils se seraient donc déposés soit par décantation, soit au cours de transport dans un lac plus étendu que l'actuel et auraient subi après le retrait de ce dernier une

éolisation intense au cours d'une période aride (système dunaire de la bordure sud et SW du Lac Fitri) avant d'être à nouveau immergés et repris par les eaux lors du pluvial suivant. Ces sables proviennent en partie des apports de ces cours d'eau mais surtout du démantèlement des formations sableuses anciennes originaires de l'Est (Ouaddaï - Ennedi) que l'on voit non remaniées au nord du 13è parallèle. Ceci explique le fort pourcentage d'éolisés et la dominance de minéraux lourds du 1er groupe.

Dans la zone de confluence Chari - bahr Erguig, il s'agit de dépôts sableux venus du Sud et apportés par ces deux fleuves.

Dans l'Est tchadien, la série récente est de grossièreté moyenne et les sables très diversement triés. Ceux-ci sont constitués pour une fraction plus ou moins importante, d'anguleux et subanguleux. Les grains arrondis sont peu nombreux tandis que les éolisés augmentent vers le Nord. Ces sédiments de type fluviatile ou éolo-fluviatile par leur courbe de fréquence se localisent ici dans des dépressions et ont été mis en place anciennement par des cours d'eau dont on peut suivre le cheminement grâce à ces dépôts qui atteignent parfois plusieurs kilomètres de large. Ils tirent leur origine :

- de la série ancienne et de grès paléozoïques et dans ce cas, il y a dominance parmi les minéraux lourds de zircon accompagné d'une fraction importante d'épidote;
- des massifs granitiques ou grano-dioritiques (hornblende verte alors très nombreuse).

Il est difficile de parler du passé de ces sédiments, puisque de même que ceux de la série ancienne en cette même région, ils proviennent indirectement d'anciens grès préalablement éolisés. Il est judicieux d'admettre qu'après leur mise en place dans les dépressions où nous les voyons, ils ont subi une nouvelle phase d'éolisation. Celle-ci est d'ailleurs montrée par les accolements sableux qui s'observent autour des pointements granitiques au nord du 12° de latitude Nord. Ces sédiments bien triés, de grossièreté moyenne à fine, présentent parmi les minéraux lourds des pourcentages élevés de hornblende qui les différencient bien de ceux de la série ancienne et les assimilent à ceux de la série récente. L'éolisation de ces sédiments augmente du Sud vers le Nord. Les courbes de fréquence de type éolien ou éolo-fluviatile sont assez différentes de celles de la série ancienne. Ces accolements sableux apparaissent donc comme des apports relativement récents amenés sous l'action des vents.

3.4.1.3. Série subactuelle à actuelle

Elle représente la dernière manifestation de l'alluvionnement tant dans les bassins du Logone et Chari, que dans ceux des cours d'eau de l'Est (ouadis Batha, Bitéa, Enné, Adad ...) ou du SE (bahrs Salamat, Keïta, Aouk ...).

Cette série est caractérisée par des dépôts de texture plus fine que les séries précédentes. Ils sont limoneux, limono-argileux, argilo-limoneux, argilo-sableux, parfois sableux et souvent s'interstratifient.

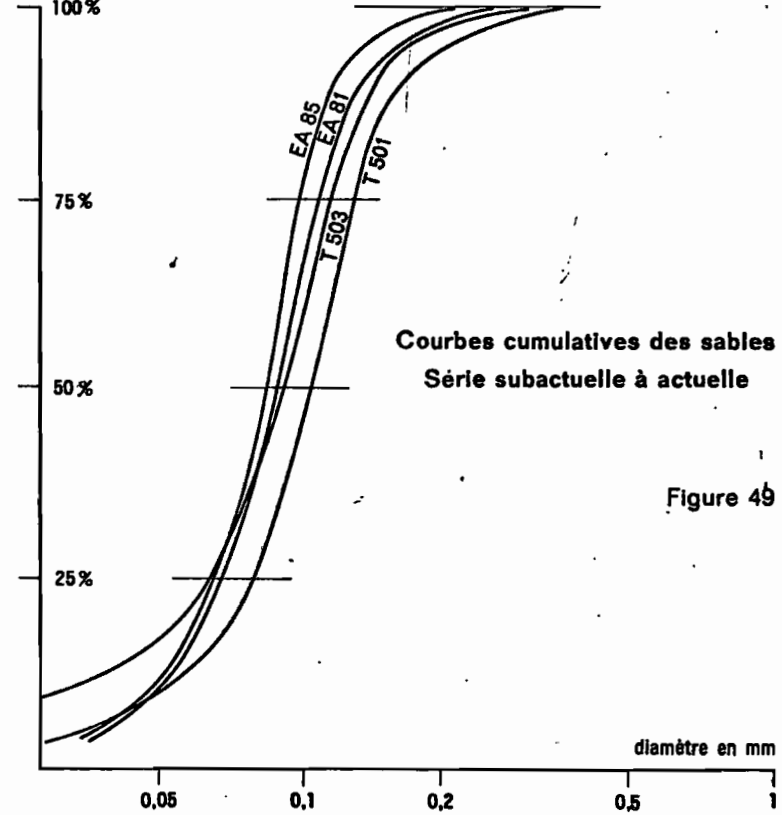
Ces limons sont observés :

- dans les dépressions (région de Laï, du Lac Boro, du Nord Bongor, de la bordure du Bahr Salamat ...)
  Epandus en nappe discontinue et peu étendue, ils sont très légers, pulvérulents et emportés facilement par le vent après les feux de brousse. Ils sont peu épais, 20 à 40 cm en moyenne et se superposent soit à la série sableuse récente, soit aux formations argileuses (argiles à nodules calcaires, argiles récentes).
  Ils contiennent des sables fins abondants, de nombreux micas mordorés et des pseudo-sables ferrugineux grossiers.
- En bordure des fleuves, des cours d'eau modestes, des défluents ... où ils forment des bourrelets latéraux surplombant la plaine de 3 à 4 m. Ils sont généralement plus argileux que les limons des dépressions et de teinte brune, souvent tachetés de rouille.
  Les régions où ces bourrelets sont particulièrement développés sont celles du nord de Fort-Lamy, de la fosse Est de Massénya, de la fosse nord d'Oum Hadjer, de celle des bahrs Djourf et Salamat.

Dans les fosses notamment, on a l'impression que le réseau hydrographique est venu se surimplanter sur le dépôt argileux ou argilo-sableux d'origine lacustre, le morcelant ainsi en multiples petites dépressions.

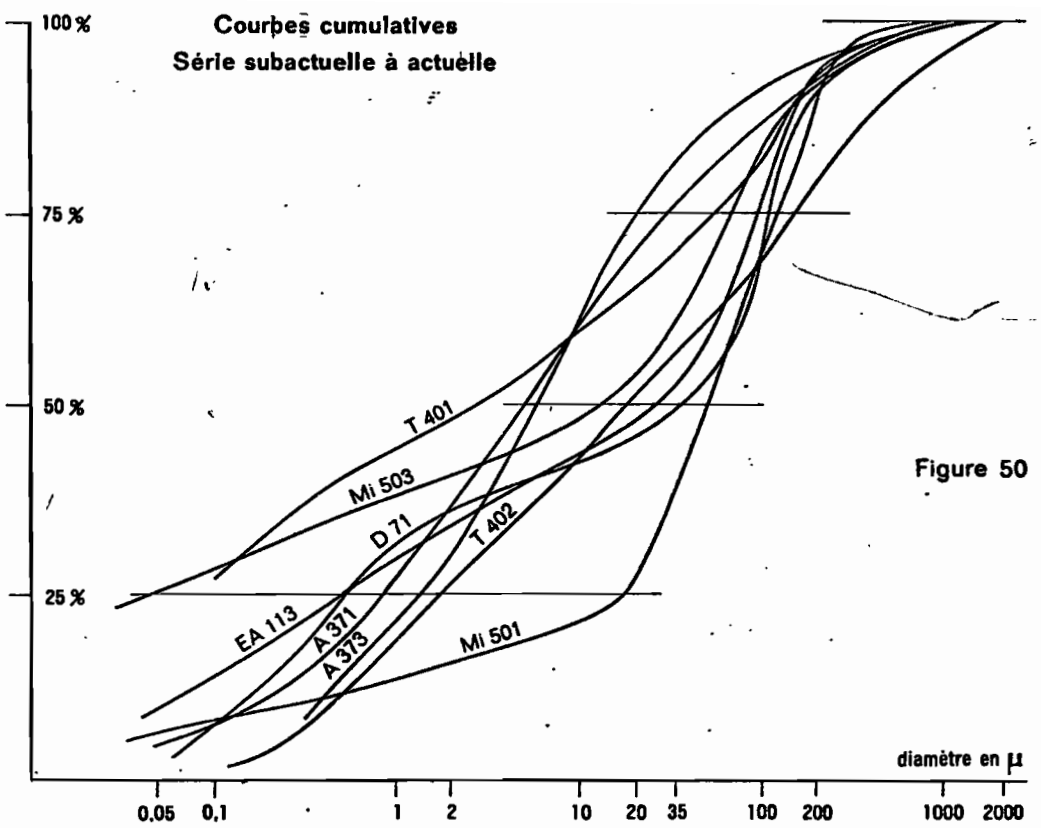
Ces sédiments vont présenter différents faciès :

- un faciès sableux rarement observé, sauf au voisinage de Fort-Lamy;
- un faciès argilo-limoneux beaucoup plus commun.(Tableaux en annexe 31 à 33).



Courbes cumulatives des sables
Série subactuelle à actuelle

Figure 49



Courbes cumulatives
Série subactuelle à actuelle

Figure 50

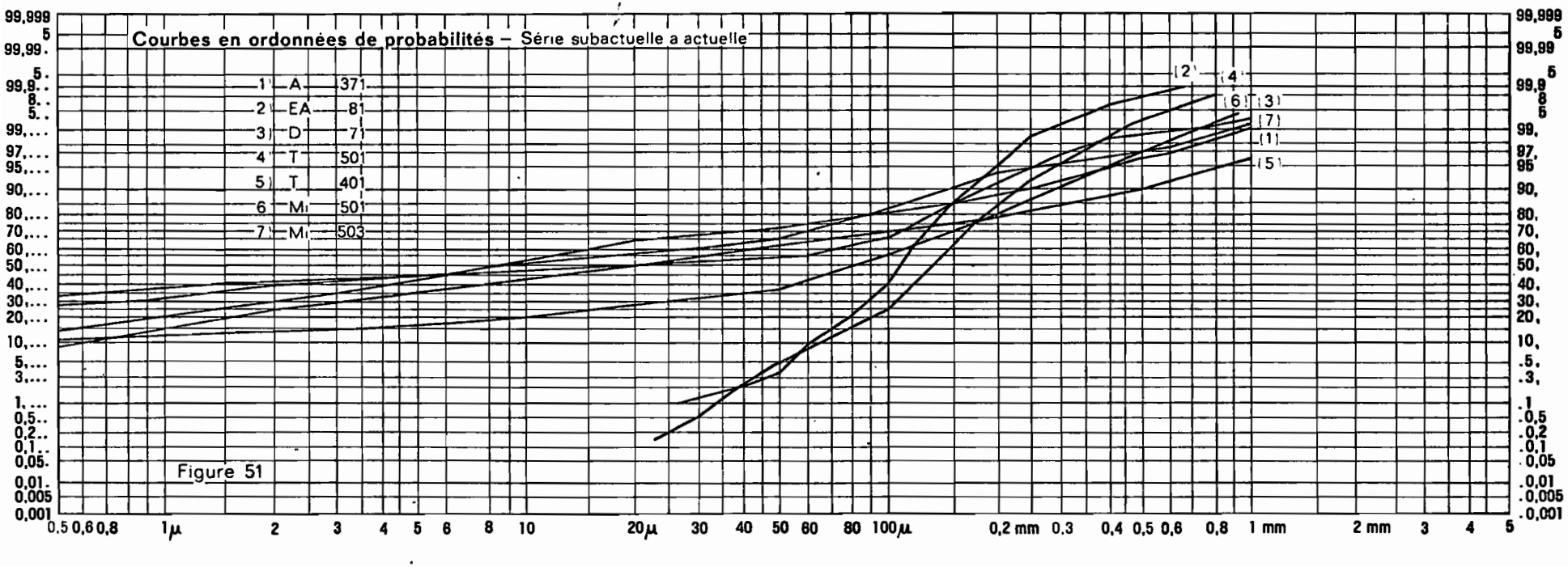


Figure 51

- Faciès sableux.

Les teneurs en éléments colloïdaux inférieurs à 2 μ sont généralement faibles, 0 à 5% en surface, mais augmentent rapidement en profondeur (15-25%).

Il y a dominance des quartz auxquels s'ajoute une fraction micacée plus ou moins importante, tandis que les feldspaths sont rares ou absents.

Ces sables sont très bien triés (Hétérométrie 0,27 à 0,38), de faible grossièreté (Médiane 100 μ). L'indice d'usure assez élevé en surface (0,340-0,408) par suite de la présence de quartz éolisés (20 à 40%), diminue avec la profondeur (0,226-0,228 - 12 à 18%). Les grains subanguleux dominent (22 à 80%). Les courbes cumulatives sont à faciès mixte, légèrement parabolique et hyperbolique, tendant vers un type logarithmique. Il s'agit de sédiments déposés en cours de transport (partie fine), par décantation (partie grossière), de sédiments en fin d'évolution (fig.49). Les courbes de fréquence à un maximum et très redressées peuvent être interprétées comme correspondant à un type fluviatile très évolué, ou bien à un type éolien. L'éolisation diminuant avec la profondeur sans que ne change le faciès des courbes, marque donc l'influence prépondérante du caractère fluviatile de ces sédiments et laisse supposer une éolisation superficielle secondaire. En ordonnées gaussiennes (fig.51), les courbes sont identiques à celles du faciès fin du nord de Fort-Lamy (fig.45 - échantillons FL 54 et Da 221 à rapprocher du EA 81 et du T 501).

Le pourcentage de minéraux lourds est peu élevé, inférieur à 1%. On note en plus du zircon (7 à 34%), de l'épidote verte (14 à 18%), de la staurotide (2 à 21%), de la hornblende verte (4 à 20%) que nous avions trouvés dans la série sableuse récente.

- Faciès argilo-limoneux.

Les pourcentages d'argile et limon sont ici très divers et, si le type argilo-limoneux représente un faciès assez classique, tous les termes de passage (échantillons T401 - 402) existent entre celui-ci et le faciès sableux précédent (fig.50).

Ces sédiments argilo-limoneux ont des courbes cumulatives à faciès pluri-modal indiquant des types divers de dépôts et dans bien des cas, soit des variations du flux lui-même, soit l'interférence de deux ou plusieurs flux. Les courbes en ordonnées de probabilité tendent vers des droites à pente faible où se distinguent des portions de droite à inclinaisons différentes (fig.51, échantillons Mi 503 - A 371).

La fraction sableuse de ces sédiments a une hétérométrie très diverse, souvent élevée (0,70 à 1,10), tandis que l'indice de grossièreté est toujours faible, inférieur à 125 μ. L'indice d'usure et le pourcentage de quartz éolisés sont peu élevés (0,132 à 0,288 - 6 à 14%).

La coloration de ces divers échantillons est dans la gamme des 10 YR variant du brun clair (6/5) à brun très foncé (4/2) pour ceux de surface, à l'exception du A 37 plus gris. Les échantillons de profondeur restent dans la gamme des 10 YR brun plus ou moins foncé (4,5/3, 5/4,...) ou passent dans celle des 2,5 Y gris-brun clair (6.5/2), jaune pâle (7/4,...).

La teneur pondérale en minéraux lourds est comprise pour les échantillons analysés entre 0,47 et 0,88%, sauf dans l'échantillon Mi 501 (1,4%) qui est un horizon superficiel très sableux, dont les éléments colloïdaux ont été entraînés par lessivage oblique. Ce phénomène est assez fréquent sur ce type de sédiment peu perméable où se manifeste une érosion hypodermique en nappe qui ne laisse subsister que la fraction sableuse. Parmi les minéraux lourds, zircon (28 à 52%), tourmaline (2 à 22%), rutile (6 à 15%) sont encore abondants lorsque le matériau tire son origine de vieilles séries sédimentaires (échantillons T 40 - Mi 50). A l'inverse, si ce matériau provient de l'érosion des massifs, nous voyons dominer la hornblende (échantillons A 37 : 42-48%) accompagnée d'épidote verte (14 à 20%), zoïsite (16 à 22%), ...

La fraction argileuse est à dominance de kaolinite dans l'échantillon T 401 (bassin du Moyen Logone). Elle est constituée dans les échantillons T 50 par de la montmorillonite dominante à laquelle s'ajoutent de la kaolinite et de l'illite. Une composition identique est retrouvée dans divers échantillons relevés au sud de Fort-Lamy et près du Lac Tchad, avec des dominances variables, mais généralement de fort pourcentage de montmorillonite.

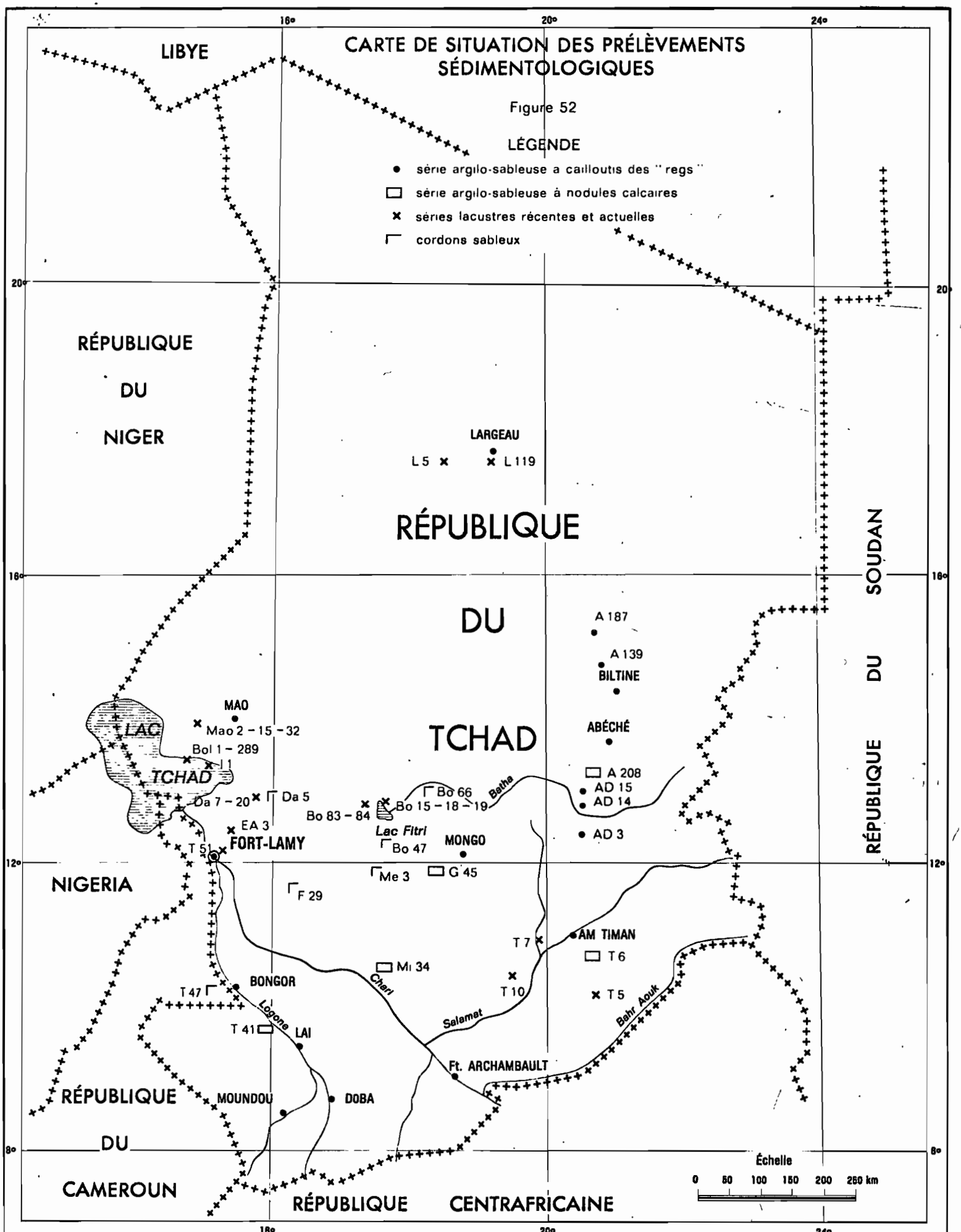
- Conclusions sur la série subactuelle à actuelle.

Cette série a une composition granulométrique relativement hétérogène où dominent surtout les éléments fins inférieurs à 50 μ.

Les sédiments uniquement sableux sont rares et s'observent par plages discontinues, au nord de Fort-Lamy notamment. Très bien triés, ils ont des courbes de fréquence de type fluviatile très évolué. Les quartz sont principalement des subanguleux, mais il existe également des grains éolisés, notamment en surface; certains ont été repris par les eaux. Ces sédiments tirent, pour une grande partie ici, leur origine de la série sableuse récente, très éolisée dans cette région. Mis en place par remaniement fluviatile permettant la constitution des bourrelets, ils seraient en cours d'éolisation superficielle.

Les sédiments limono-argileux, argilo-limoneux sont les mieux représentés. De nature fluviatile, ils ont été déposés par des courants multiples, d'intensité diverse. Le pourcentage de quartz éolisés, à l'inverse, est peu élevé sauf pour certains échantillons de l'Est tchadien où la série fluviatile ancienne est à l'origine d'une partie des dépôts. Ils constituent le plus souvent des bourrelets, parfois des dépressions. Peu perméables par leur texture, une érosion hypodermique se développe sur leur surface. Elle a pour effet un entraînement de la partie colloïdale qui les fait alors apparaître superficiellement très sableux.

Les minéraux lourds ne montrent pas toujours la grande jeunesse de ces sédiments. Ceci tient à ce qu'ils proviennent parfois en fort pourcentage de vieilles séries sédimentaires où les minéraux du 1er groupe dominent. A l'inverse, dès que les apports en provenance des massifs se font sentir, apparaissent : hornblende, épidote verte, zoïsite. La fraction argileuse semble


CARTE DE SITUATION DES PRÉLÈVEMENTS SÉDIMENTOLOGIQUES
Figure 52
LÉGENDE
série argilo-sableuse a cailloutis des " regs "
série argilo-sableuse à nodules calcaires
séries lacustres récentes et actuelles
cordons sableux
LIBYE
RÉPUBLIQUE DU NIGER
RÉPUBLIQUE DU TCHAD
RÉPUBLIQUE DU SOUDAN
NIGERIA
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
LARGEAU
L 5
L 119
MAO
Mao 2 - 15 - 32
Bol 1 - 289
I 1
LAC TCHAD
Da 7 - 20
Da 5
EA 3
T 51
FORT-LAMY
Bo 83 - 84
Bo 66
Bo 15 - 18 - 19
Batha
Lac Fitri
Bo 47
MONGO
Me 3
G 45
F 29
A 187
A 139
BILTINE
ABÉCHÉ
A 208
AD 15
AD 14
AD 3
T 7
AM TIMAN
T 6
Mi 34
Chari
T 10
T 5
Bahr Aouk
BONGOR
T 47
Logone
T 41
LAI
Salamat
Ft. ARCHAMBAULT
MOUNDOU
DOBA
Échelle
0 50 100 150 200 250 km
16°
20°
24°
18°
12°
8°

suivre une règle identique. Elle est à dominance de kaolinite dans le premier cas, de mélange de montmorillonite - kaolinite - illite dans le second.

3.4.2. Séries fluvio-lacustre et lacustre (figure 52)

3.4.2.1. Série argilo-sableuse à cailloutis des "regs"

Elle occupe des surfaces importantes, principalement sur la bordure ouest du massif du Ouaddaï, poussant des prolongements avancés jusqu'au NW de Mongo. Sur le pourtour du massif central tchadien et dans l'intérieur du massif du Ouaddaï, vont s'observer des formations analogues mais très discontinues qui semblent indiquer la disparition par érosion de cette série relativement ancienne.

Sur la bordure du massif du Ouaddaï, dans les plaines de piedmont, elle offre aux yeux du voyageur des surfaces planes, un paysage désolé aux rares arbres qui lui donnent un avant-goût des étendues sahariennes désertiques. Le substratum granito-gneissique proche affleure çà et là en surface. Un abondant cailloutis quartzeux roulé couvre le sol. Des poches de sables graveleux, quartzeux et feldspathiques supérieurs à 2 mm mais moins grossiers que le cailloutis superficiel, s'observent au milieu des sols argilo-sableux, parfois à nodules ou amas calcaires, mais peu abondants.

Sur ces surfaces apparaissent également de petites cuvettes plus argileuses, comblées récemment par colluvionnement. Le sol y est plus noir et peut présenter aussi quelques nodules calcaires.

Cette série est assez peu argileuse, en moyenne de 25 à 40% d'argile, dans les échantillons prélevés en profondeur. A l'inverse, elle est superficiellement très sableuse, ceci sur quelques centimètres, exceptionnellement une vingtaine de centimètres (0 à 5% d'argile).

L'indice de grossièreté du sédiment total est variable, la médiane se situant entre 18 μ et 145 μ pour les échantillons analysés.

L'hétéronétrie des sables est élevée, variant de 0,68 à 1,18 pour les échantillons de surface, de 0,72 à 1,35 pour ceux de profondeur. Il s'agit donc de sédiments mal ou très mal triés, proches de ceux d'une arène.

L'indice de grossièreté des sables est assez élevé (Médiane le plus souvent supérieure à 0,2 mm, pouvant atteindre 0,390 mm).

Le triage de ces sables et l'indice de grossièreté sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que l'on remonte vers le Nord en s'éloignant des massifs. L'hétérométrie passe ainsi de 1,2 - 1,3 au voisinage d'An Dam à 0,7 au nord d'Arada, tandis que la médiane s'abaisse de 0,25 - 0,35 mm à 0,14 mm.

Le pourcentage de feldspaths peut être très fort dans la partie la plus grossière. C'est ainsi qu'il peut atteindre jusqu'à 50% dans certains horizons de surface. Mais ceci est exceptionnel et généralement, il est inférieur à 10%. Les feldspaths disparaissent en totalité dans la fraction la plus fine observée (0,2 mm). Il s'agit ici d'orthose.

Les quartz sont le plus souvent subanguleux, luisants ou picotés, sauf quelquefois en surface où le pourcentage d'anguleux est plus élevé. Dans ce même horizon, les éolisés typiques ou ceux repris par les eaux sont plus abondants que dans les horizons profonds (de 22 à 65% en surface pour 10 à 30% en profondeur). De ce fait, l'indice d'usure peut être parfois élevé (0,41 - 0,578, ...). La présence de sables éolisés dans ces formations ne saurait surprendre. Les sables de ces dépôts argilo-sableux ont une origine mixte. Ils proviennent, d'une part des massifs granitiques du Ouaddaï, d'autre part des vieilles formations gréseuses ayant subi une éolisation ancienne (1). Ces sables éoliens ont été repris par les eaux lors de leur mise en place. Ces deux phénomènes peuvent jouer, de nos jours, consécutivement pour les horizons de surface (éolisation de saison sèche, ruissellement de saison des pluies).

Dans cette série, la coloration des échantillons de surface entre dans la gamme des 10 YR. Ils sont superficiellement gris à brun pâle dans les échantillons sableux (6/1, 5/3), brun ensuite (4/2), gris brun clair à plus grande profondeur (2,5 Y 5,5/2 - 6/2).

L'examen des courbes cumulatives du sédiment total révèle des faciès divers, de type pluri-modal, indiquant des stocks sédimentaires d'origine différente en mélange (fig.53). Les courbes de la fraction argileuse sont souvent faiblement hyperboliques, montrant que le dépôt de celle-ci s'est effectué par décantation.

Les courbes cumulatives et de fréquence des sables indiquent, d'autre part, que nous avons affaire à un sédiment fluviatile ruisselé (courbes très étalées à plusieurs maxima) - Figures 54 - 55.

Tout tend à indiquer que nous sommes en présence d'un sédiment peu évolué, déposé après un transport brutal plus ou moins long dans des cuvettes inondées périodiquement ou de façon permanente. Cette hypothèse est confirmée par la présence de diatomées, bien que celles-ci soient assez peu nombreuses. Il s'agit, soit de pennales (genre Ceratoneïs), soit de centriques (genre Melosira).

Il ne semble pas y avoir de grande différence de faciès entre les courbes cumulatives des sables des horizons de surface très sableux et celles des horizons de profondeur. On peut donc admettre un lessivage oblique très superficiel du matériau argilo-sableux ayant pour conséquence le départ des colloïdes.

---

(1) Là est peut-être également l'origine du cailloutis des "regs", car certains faciès grossiers des grès sont à dragées quartzeuses

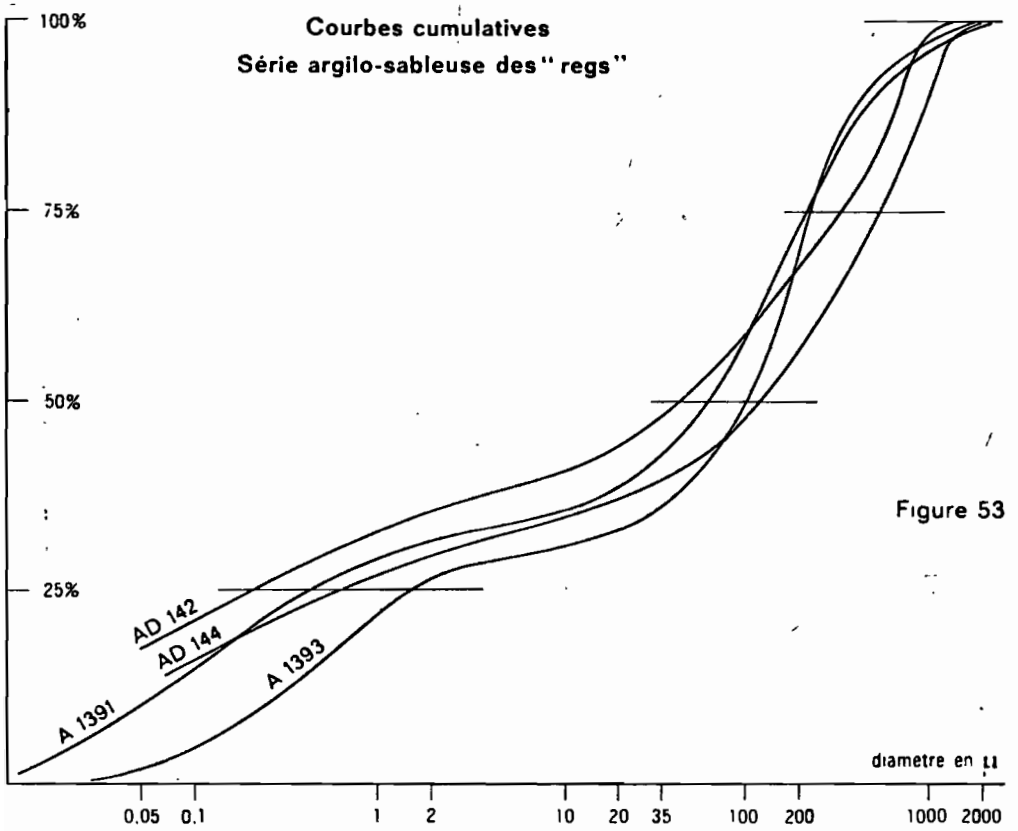


Figure 53

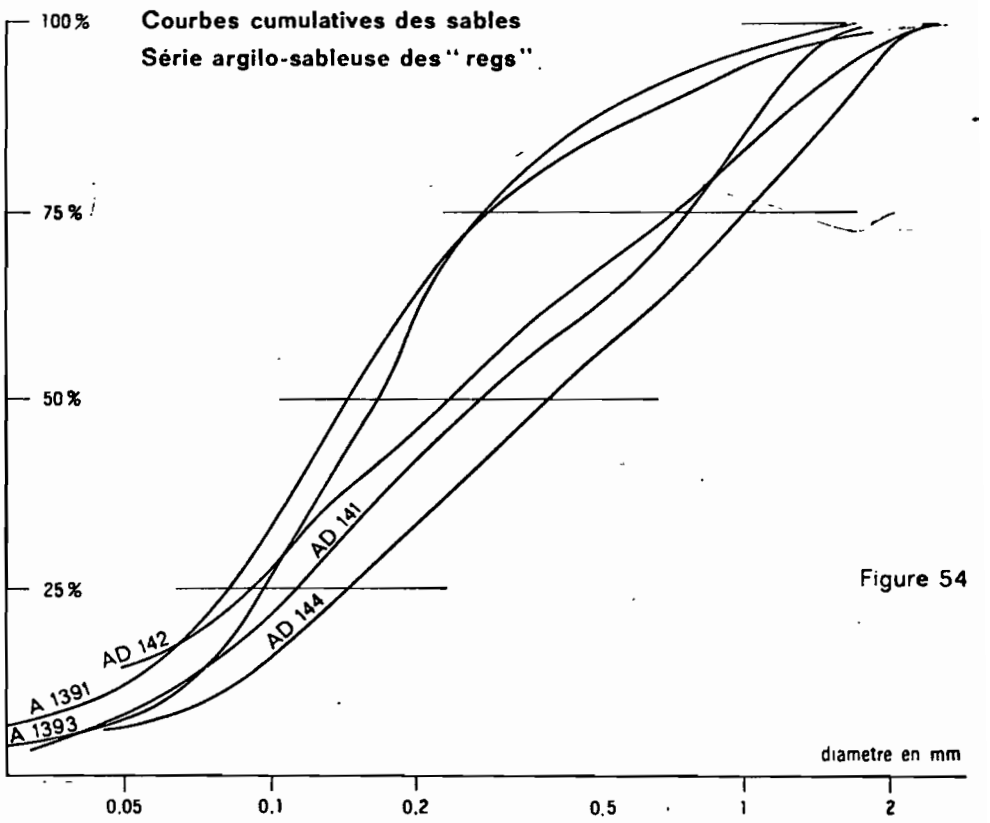


Figure 54

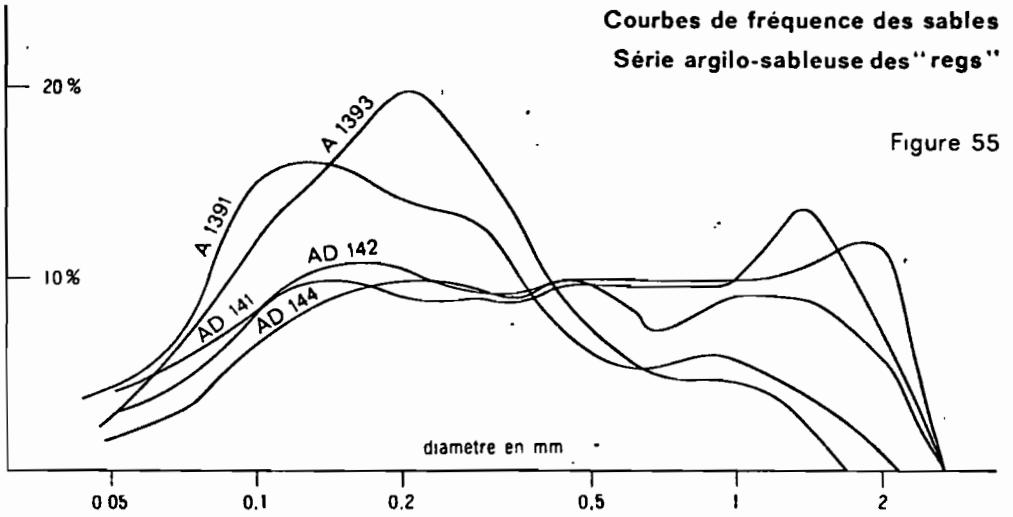


Figure 55

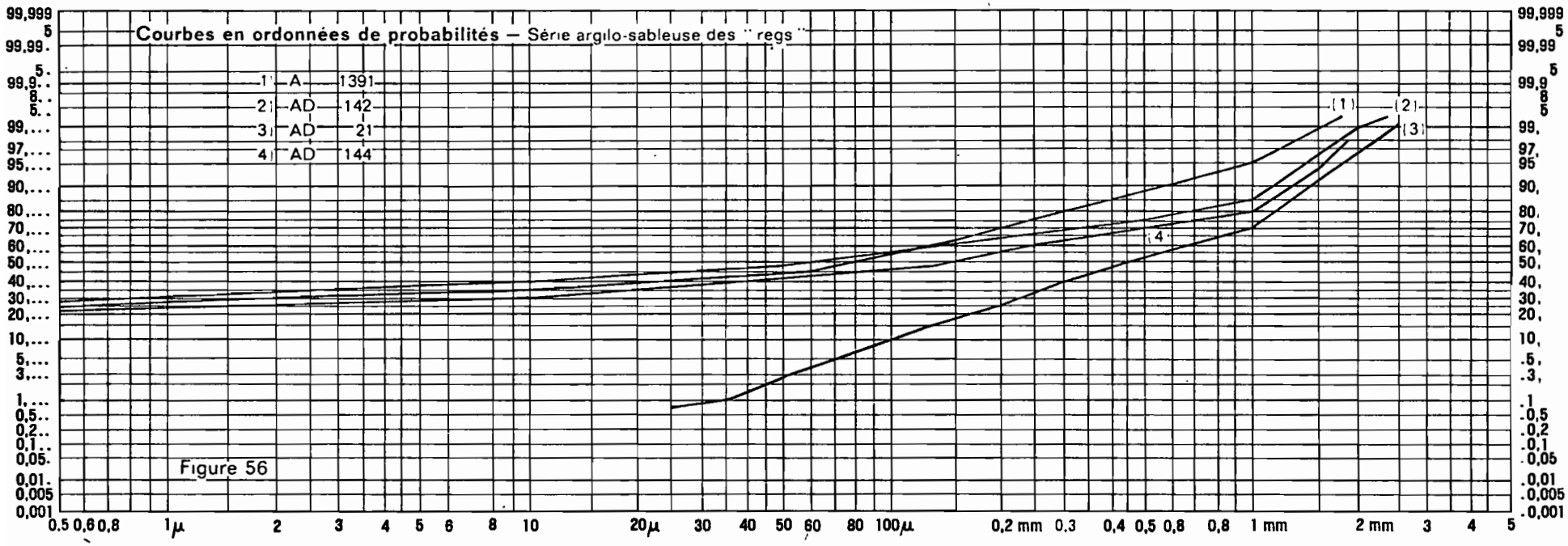

Courbes en ordonnées de probabilités — Série argilo-sableuse des "regs"
1 A 1391
2 AD 142
3 AD 21
4 AD 144
(1)
(2)
(3)
(4)
99,999
99,99
99,9
99
97
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
3
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,01
0,005
0,001
0.5 0,6 0,8 1μ 2 3 4 5 6 8 10 20μ 30 40 50 60 80 100μ 0,2 mm 0,3 0,4 0,5 0,8 0,8 1 mm 2 mm 3 4 5

Figure 56

Les courbes en ordonnées de probabilité sont très étalées sur l'axe des abscisses entre 60 et 0,5 μ, avec des pentes faibles (échantillons argilo-sableux AD 142 - AD 1391 - AD 24). Les échantillons superficiels très sableux (AD 21) ont des courbes à pentes plus redressées présentant des distorsions à leurs extrémités (fig.56).

Certains auteurs, tels que J.AB.DIE, J.SONET (1963), veulent voir dans cette série le fluviatile le plus ancien de cette région. Les minéraux lourds révèlent, en fait, la jeunesse relative de ces dépôts. Comme dans la série sableuse récente, on notera l'abondance de hornblende verte (3 à 42%), d'épidote verte (14 à 36%), au détriment du zircon (12 à 30%), de la tourmaline (2 à 22%) ... Les deux premiers sont accompagnés de zoïsite, sillimanite, grenat.

La fraction argileuse de ces sols est constituée essentiellement par de la montmorillonite. Il peut s'y ajouter de faibles quantités de kaolinite.

Nous ferons de ces dépôts relativement récents une série fluvio-lacustre assez analogue à la série argilo-sableuse à nodules calcaires. (Tableaux en annexe 34 à 36).

- Conclusions sur la série argilo-sableuse à cailloutis des "regs"

Cette série, à fraction sableuse grossière, très mal triée, à courbe de fréquence très étalée à plusieurs maxima est celle d'un matériau fluviatile ruisselé peu évolué, correspondant à une arène quartzeuse et feldspathique en provenance du massif granitique et de sables quartzeux éolisés venant de la série fluviatile ancienne ou des grès. Sa fraction argileuse, à dominance de montmorillonite, apparaît déposée par décantation, donc de type lacustre ou marécageux, ce que confirme la présence de diatomées.

L'observation des minéraux lourds montre, d'une façon générale, des sédiments jeunes où la hornblende est souvent un des éléments dominants.

Cette série argilo-sableuse résulterait donc d'un dépôt de matériau grossier après un transport violent dans des cuvettes inondées temporairement ou en permanence.

Une érosion superficielle analogue à celle signalée pour certains échantillons de la série subactuelle à actuelle se produit de nos jours dans la partie supérieure du sol. Elle se traduit par un départ des éléments colloïdaux, tandis que demeure sur place seulement la partie la plus grossière.

3.4.2.2. Série argilo-sableuse à nodules calcaires

Cette série ancienne se manifeste surtout par la grande extension d'un dépôt argilo-sableux à nodules calcaires que l'on observe aussi bien le long des berges du Logone, principalement entre Laï et Bongor, que dans les zones de déversement situées de part et d'autre du fleuve. Cette sédimentation occupe également de vastes surfaces dans la dépression où coulent les bahrs Salamat, Keïta et Aouk. Enfin, elle forme des enclaves au milieu des affleurements des cuirasses ferrugineuses anciennes autour du massif central tchadien. Au voisinage du massif du Ouaddaï, elle n'occupe plus que des places restreintes au milieu des "regs" et ceci dans les positions les plus basses.

Cette série débute, soit par une phase grossière de sédimentation avec galets de quartz et autres roches, éléments de cuirasse, sables grossiers, soit par des sables plus fins.

Ces sédiments, par leur texture et leur extension semblent montrer que le dépôt s'est effectué pendant une période lacustre ou plus marécageuse que celle qui existe actuellement dans ces régions. L'épaisseur de cette série peut atteindre plusieurs mètres (5 à 6 m dans certaines coupes observées le long du Chari et du Logone ou dans la cuvette Salamat-Keïta-Aouk, 3 à 4 m au voisinage de Bongor), ou des épaisseurs moindres au nord de cette ville dans la plaine d'inondation du Logone où ces sédiments argilo-sableux sont recouverts par des dépôts argileux lacustres plus récents ou les limons fluviatiles (série subactuelle à actuelle).

La surface du sol tourmentée a un microrelief très accusé, constitué d'une succession de petits monticules et de dépressions. Ces dernières ont une profondeur de 30 à 40 cm et une teinte grise due à l'accumulation superficielle de matière organique. Chaque butte du micro-relief porte, en surface, des concrétions ferrugineuses et des nodules calcaires reposant sur une argile jaune. En de fréquents endroits, la surface autour des buttes est blanchâtre et fait effervescence à l'acide.

L'origine des effondrements et des nodules calcaires, ainsi que la nature de ces dernières, sera donnée au chapitre des sols et à celui des grands processus de pédogenèse.

La présence de ces nodules est une caractéristique essentielle de ces argiles et constitue un repère stratigraphique que nous retrouvons également sur le Ba-Illi, sur les berges profondes du Chari (Guelendeng, Mailao ...) ou du bahr Salamat (Zakcuma) ...

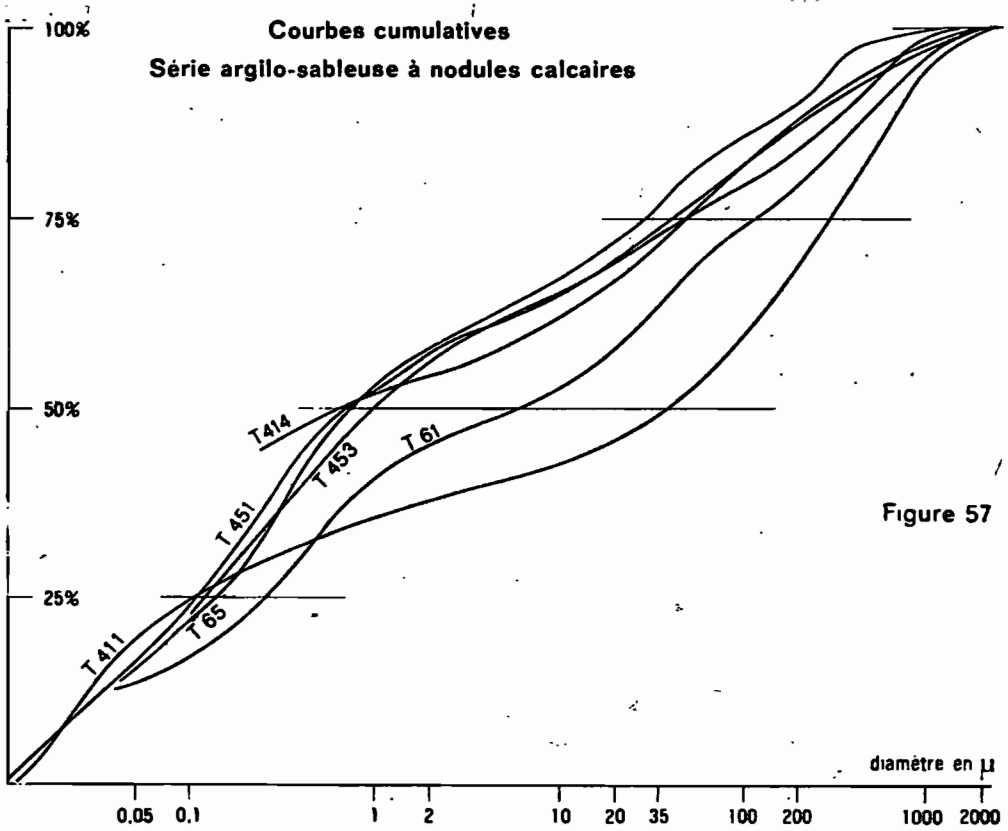


Figure 57

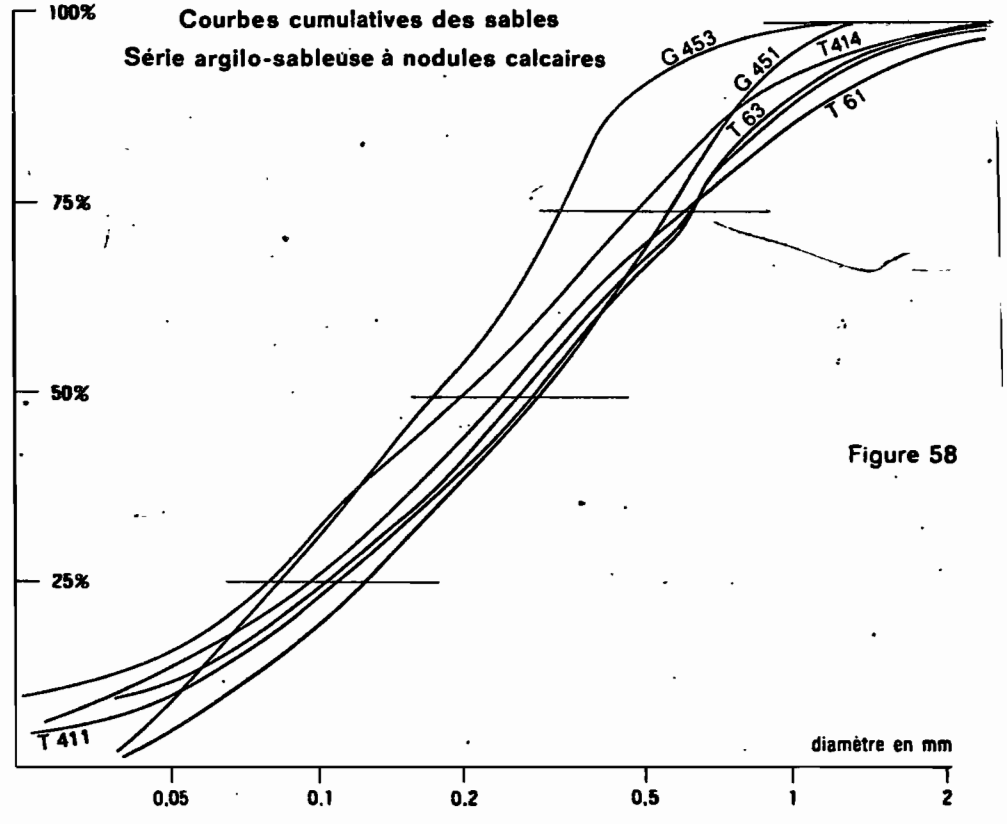


Figure 58

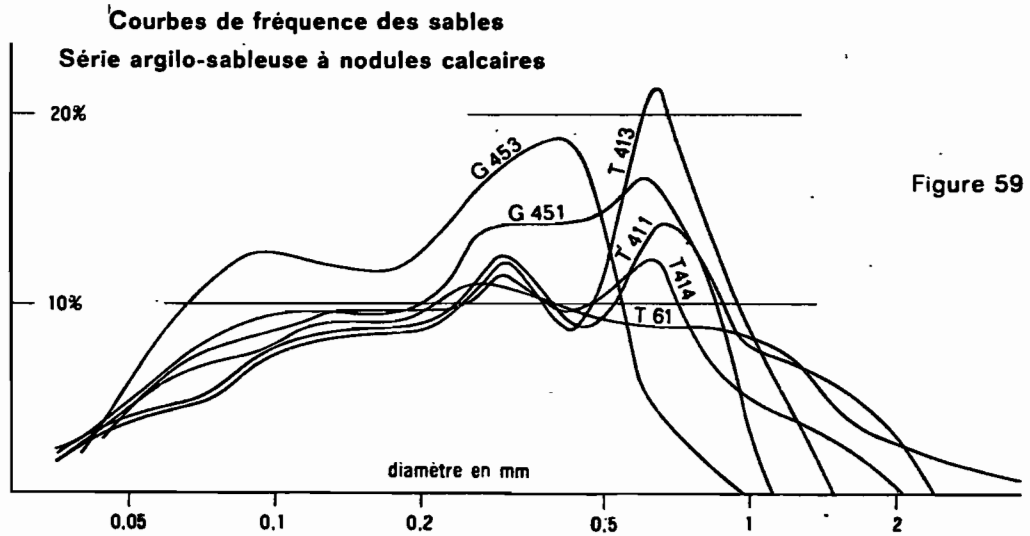


Figure 59

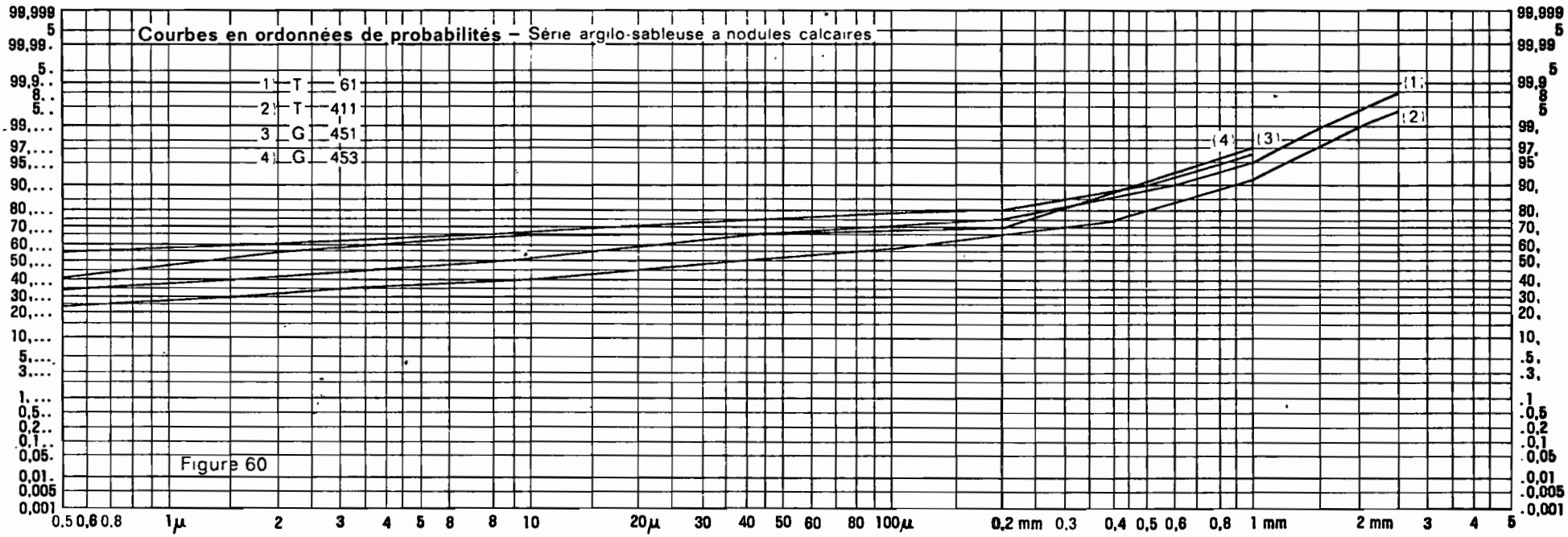

Courbes en ordonnées de probabilités – Série argilo-sableuse a nodules calcaires
1 T 61
2 T 411
3 G 451
4 G 453
(1)
(2)
(3)
(4)
99,999
99,99
99,9
99
97
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
3
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,01
0,005
0,001
0,5 0,6 0,8 1µ 2 3 4 5 8 8 10 20µ 30 40 50 60 80 100µ 0,2 mm 0,3 0,4 0,5 0,6 0,8 1 mm 2 mm 3 4 5

Figure 60

Sur ces sédiments argilo-sableux se sont déposés, plus récemment, lors d'une reprise de l'érosion des ensembles de l'arrière-pays, un cailloutis quartzeux roulé plus ou moins rubéfié d'une grosseur moyenne de 2 à 3 cm, annonciateur de la série sableuse récente déposée ici en d'étroits couloirs surplombant les argiles dans lesquelles les cours d'eau de cette époque se sont creusés leur lit.

La coloration de ces sédiments se situe généralement dans la gamme des 2,5 Y. Ils vont de gris-brun foncé (4/2) à brun-olive (5/4) en surface. En profondeur, la tonalité la plus courante est brun-olive plus ou moins clair (4,5/4 - 5,5/4). A plus grande profondeur, ils peuvent devenir jaunâtre (7/4) avec des marbrures d'hydromorphie.

Cette série présente des taux variables d'argile, généralement compris entre 30 et 45%, avec une augmentation en profondeur. La fraction sableuse qui accompagne ces argiles est assez grossière (Médiane supérieure à 0,200 mm et parfois 0,300 mm).

Ces sables à dominance quartzeuse (feldspaths 1-2%) sont d'une façon générale très mal triés (hétérométrie supérieure à 0,8 et souvent à 1), peu évolués et correspondent comme pour ceux des "regs" à des arènes. L'indice d'usure est moyen (, 0,2 - 0,3). Les quartz sont à dominance subanguleuse (26 à 76%) ou à pourcentage plus modeste d'arrondis (8 à 36%) et d'anguleux (10 à 46%), tandis que les éolisés sont peu abondants (2 à 10%).

Les courbes cumulatives de ces sédiments sont à faciès plurimodal. La fraction argileuse est soit à tendance hyperbolique peu accusée, soit ni-hyperbolique et ni-parabolique dans sa partie la plus fine (fig.57).

La fraction sableuse présente des courbes cumulatives plus ou moins sinueuses (fig.58) et très étalées. Les courbes de fréquence (fig.59) sont à plusieurs sommets.

Les courbes en ordonnées gaussiennes sont sensiblement analogues à celles de la série précédente (fig.60).

L'examen de la fraction minéraux lourds montre des différences sensibles avec celle des "regs" relativement plus homogène. Ceci provient de ce que cette série tire son origine de sources multiples suivant la région, Continental Terminal (Bassin du Logone); Continental Terminal - socle granitique (massif central tchadien); socle granitique -grès ancien (bassin des bahrs Salamat, Aouk, Keïta).

Les minéraux du 1er groupe sont souvent dominants (zircon 22 à 74% - tournaline 2 à 16% - rutile 2 à 8%). Parmi ceux du second groupe, signalons la staurotide (0 à 26%), l'épidote verte (0 à 18%), la zoïsite (2 à 20%), ainsi qu'accessoirement de la hornblende (0 à 14%) au voisinage des massifs (échantillons G 45), de la sillimanite, du grenat ...

La fraction argileuse est composée de montmorillonite souvent dominante, à laquelle s'ajoutent de la kaolinite et de l'illite en plus faible quantité. On note également des hydroxydes de fer (goethite, hématite) mais peu abondamment. La dépression du Moyen-Logone possède à l'inverse, des argiles où la kaolinite domine. On trouve cependant aussi un peu d'illite et de goethite. (Tableaux en annexe 37 à 39).

- Conclusions sur la série argilo-sableuse à nodules calcaires

Elles seront assez analogues à celles données pour les "regs".

Ces sédiments sont le plus souvent de texture argilo-sableuse. La fraction argileuse à dominance de montmorillonite, sauf dans le bassin du Moyen-Logone où la kaolinite est la plus importante, apparaît mise en place par décantation, ou parfois après léger transport, donc d'origine lacustre ou marécageuse, tandis que les sables grossiers quartzeux, mal triés, évoquent un sédiment ruisselé déposé après un transport brutal par des courants variés, dans ces lacs ou ces marécages (1).

Les minéraux lourds sont ici plus à dominance de minéraux du 1er groupe et la hornblende n'apparaît vraiment qu'au voisinage des massifs.

3.4.2.3. Série lacustre récente

Nous ne retrouverons plus ici la relative homogénéité de la formation argileuse précédente; les faciès seront plus nuancés, plus divers.

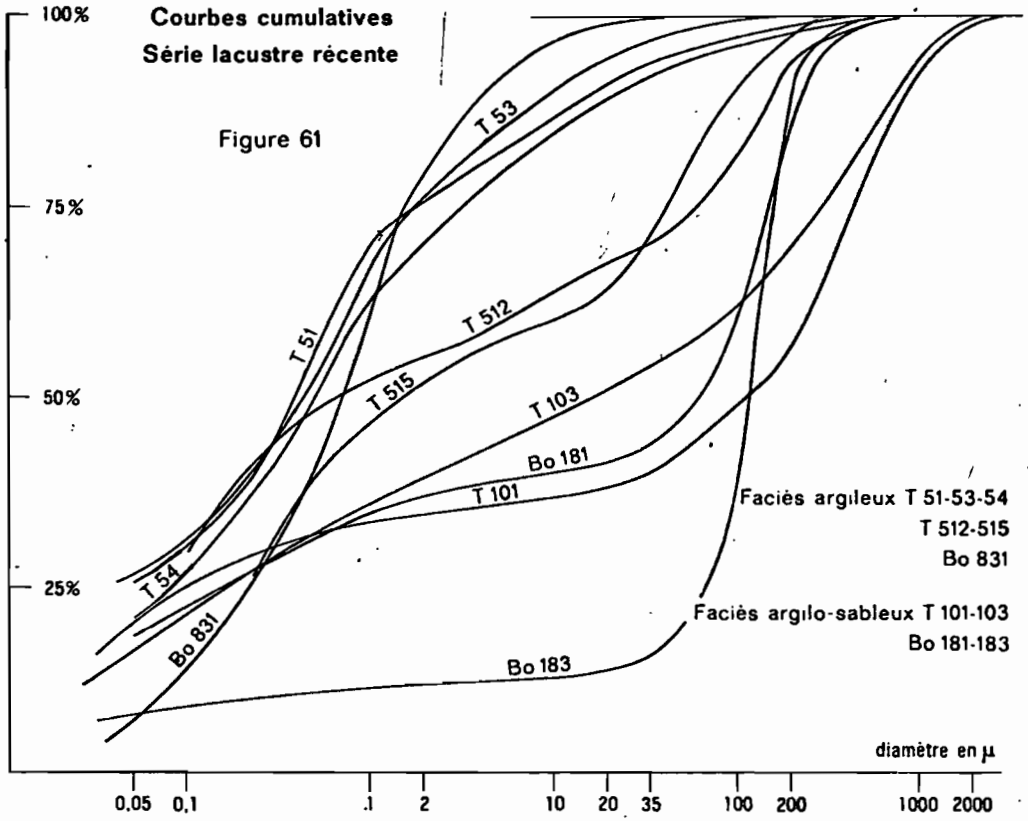
Cette série est représentée par des dépôts argileux ou argilo-sableux qui se localisent principalement au nord du 12è parallèle où ils alternent avec la série sableuse récente, constituant les îlots des deltas anciens du Chari du Batha de Laïri.

On retrouve cette série dans la dépression du Logone, à l'ouest de ce fleuve entre Bongor et Fort-Lamy où son aire de plus grande extension se situe surtout au Cameroun et en Nigéria.

Elle occupe des étendues plus modestes dans les fosses de Massénya, nord Oun-Hadjer et plus au Sud, dans celles des bahrs Salamat, Aouk, Keïta.

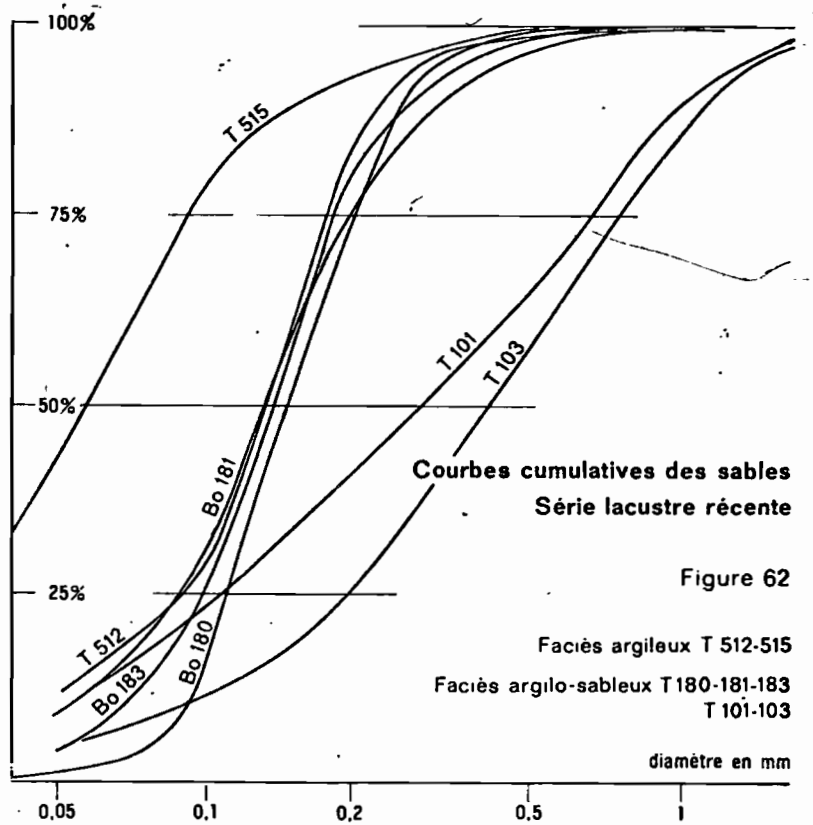
Elle s'observe également dans les interdunes orientées NW - SE que l'on trouve entre les 13° et 16° de latitude Nord à l'ouest du cordon sableux et constitue là des lentilles d'étendue restreinte limono-argileuses, argilo-limoneuses.

(1) On trouve également dans ces sédiments quelques rares diatomées pennales.



Courbes cumulatives
Série lacustre récente

Figure 61

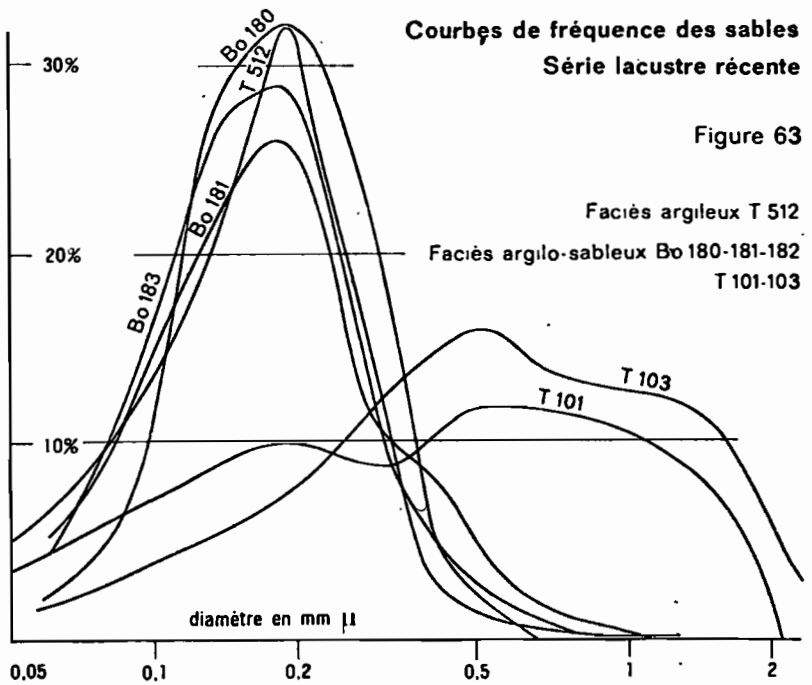


Courbes cumulatives des sables
Série lacustre récente

Figure 62

Faciès argileux T 512-515

Faciès argilo-sableux T 180-181-183
T 101-103



Courbes de fréquence des sables
Série lacustre récente

Figure 63

Faciès argileux T 512

Faciès argilo-sableux Bo 180-181-182
T 101-103

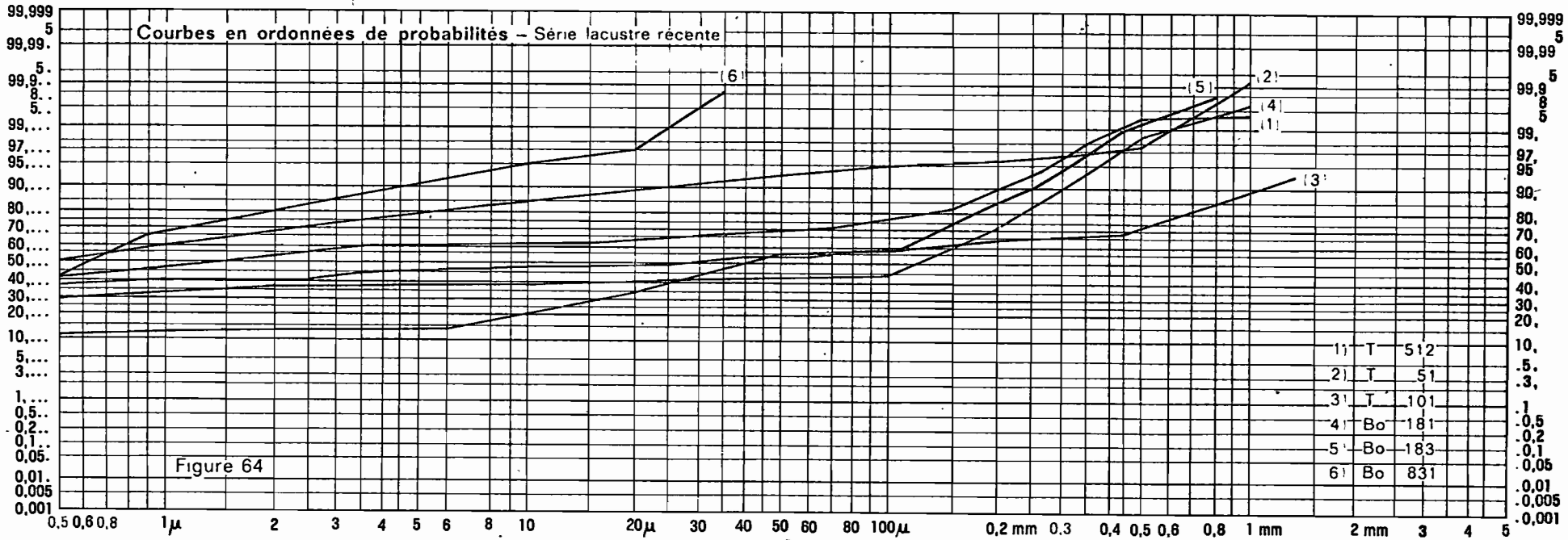


Figure 64

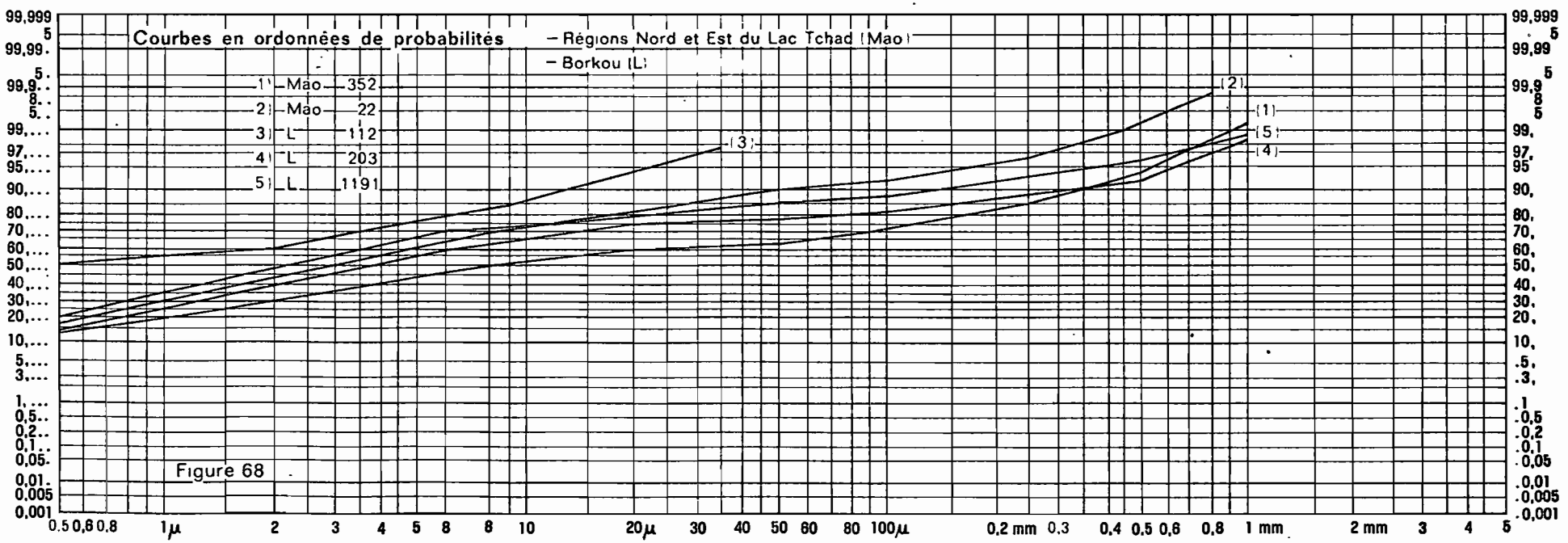


Figure 68

Au nord du 16è parallèle et jusqu'aux pieds des massifs gréseux et volcaniques de l'Ennedi-Tibesti, cette série se voit en plages de plus en plus vastes, formant ce qui est appelé localement "banco" et qui est, en fait, une argile diatomitique.

Trois lacs résiduels subsistent de cette période d'extension lacustre : les lacs Tchad, Fitri et Iro. Les deux premiers formaient une même étendue d'eau et leurs dépôts se confondaient. La limite sud d'extension de ce lac est donnée par le cordon sableux Limani-Yagoua-Bongor-Ati-Koro Toro, long de 1 000 km environ.

L'épaisseur de cette série est plus modeste que celle de la série fluvio-lacustre ancienne à nodules calcaires à laquelle elle se superpose généralement. Dans les plaines d'inondation du Logone, ces deux séries confondues peuvent atteindre 3 à 4 m et reposent sur un fond sableux. La série sableuse récente vient parfois ici s'intercaler entre les niveaux d'argile noire récente et l'argilo-sableux à nodules calcaires.

Au nord de Fort-Lamy, la série lacustre récente, peu épaisse, dépasse rarement 80 à 100cm et repose sur des sables tandis que dans le Borkou, cette épaisseur atteint 5 à 6 m.

Nous avons été amené à étudier cette série en 3 régions bien distinctes et à définir dans chacune d'elles différents faciès (Tableaux en annexe 40 à 42).

a) Bassins des Lacs Tchad - Fitri - Iro

Les sédiments sont ici généralement de texture argileuse ou argilo-sableuse.

Les courbes cumulatives (fig.61) sont à faciès hyperbolique ou bimodal (dépôts argileux). Il s'agit donc essentiellement de sédiments déposés par décantation ou en cours de transport par de très faibles courants pour la partie la plus fine des argiles. La fraction sableuse est alors négligeable (échantillons T 51 - 53 - 54).

Pour certains dépôts argileux ou argilo-sableux dont la fraction sableuse est plus importante, le faciès est bi ou pluri-modal. La partie argileuse a alors un faciès hyperbolique (échantillons T 512 - T 515) et peut présenter une assez forte dispersion aléatoire pour les particules les plus grossières de celle-ci (échantillons T 101 - B 181).

La fraction sableuse a généralement un faciès mixte, parabolique pour la partie fine, hyperbolique pour la partie grossière, mais tendant vers un faciès logarithmique (fig.62). Il s'agit donc de sédiments déposés à la fois en cours de transport et par décantation, ce qui implique la présence de courants plus ou moins forts dans le milieu lacustre où s'opère le dépôt. Les courbes de fréquence des sables (fig.63) montrent des sédiments assez bien triés (échantillons B0 180 - 181 - 183 - T 512) ou mal triés (échantillons T 101 - 103). L'hétérométrie varie ici de 0,38 à 1,18 (échantillon T 101). La grossièreté des sables est très variable (0,055 mm - T 515 à 0,390 mm - T 103).

Les sables sont à dominance de subanguleux (24 à 70%), les grains anguleux et arrondis sont le plus souvent moins abondants (0 à 50% - 2 à 64%), ainsi que les éolisés (4 à 31%) dont certains repris par les eaux. Les échantillons les plus éolisés sont ceux de surface et une partie de leur sable a une origine colluviale et provient de formation sableuse exondée voisine (échantillons BO 180 - D 201,...).

L'indice d'usure des sables, faible près des massifs (échantillon G 332 : 0,104) est élevé plus au Nord (0,3 - 0,4).

Les courbes en ordonnées de probabilité sont sensiblement identiques à celles de la série des "regs"et des sédiments argilo-sableux à nodules calcaires, mais les pentes sont plus faibles dans la partie moyenne des courbes et plus redressées dans la partie la plus grossière (fig.64).

Le pourcentage de minéraux lourds est plus élevé au voisinage des massifs (1% échantillon G 332), moins fort et variable pour les autres échantillons (0,79 à 0,17%). Les minéraux des 1er et 2ème groupes dominent alternativement. On note parfois de forts pourcentages de hornblende (échantillons G 332 - BO 191-193, 38%) près du massif central tchadien et du Lac Fitri, mais ceci n'est pas une règle générale puisque les échantillons T 180 - 181 - 183 également pris au voisinage de ce dernier lac en contiennent peu. Les minéraux lourds observés alors sont : le zircon (8 à 52%), la tourmaline (0 à 16%), l'épidote verte (0 à 32%), dans les bassins des lacs Tchad et Fitri; la staurotide (0 à 24%) dans le bassin du Lac Iro; la zoïsite (4 à 24%) ...

La coloration de cette série est dans la gamme des 10 YR ou 2,5 Y, c'est-à-dire dans celle des gris ou gris-brun diversement foncés.

- En surface : 10 YR 3/1, 4/1, 5/2
  2,5 Y 4/0, 4/1, 4/2.
- En profondeur : 10 YR 4/1, 5/1, 6/2, 6/3
  2,5 Y 4,5/0, 6/0, 5,5/2, 6/2.

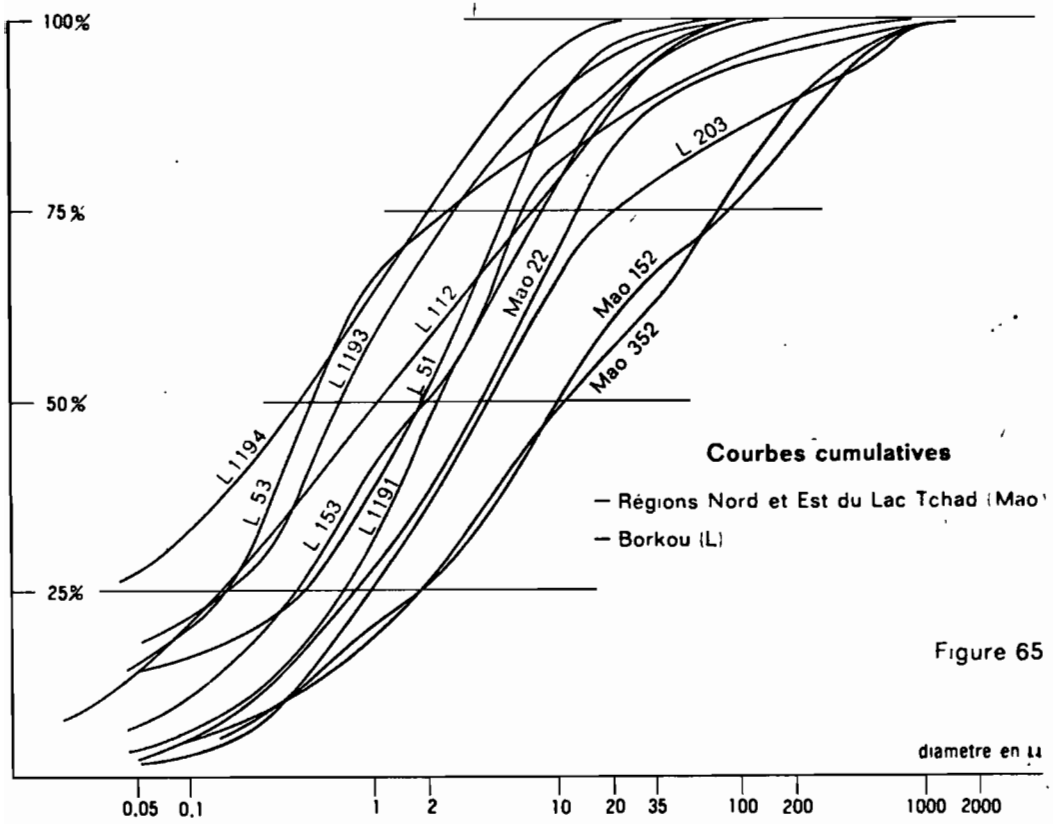
La fraction colloïdale est constituée par un mélange de montmorillonite et de kaolinite; la première est souvent prédominante. Il vient s'y ajouter de l'illite, mais en moindre quantité.

Les diatomées sont très peu fréquentes dans ces sédiments. Il s'agit en général de pennales.

Le carbonate de calcium se manifeste dans les sols du Bassin des lacs Tchad, Fitri, Iro sous forme de nodules calcaires généralement moins abondants que dans la série fluvio-lacustre précédente. Dans certains cas, ils apparaissent en voie de formation constituant des taches diffuses non encore bien individualisées ou de minuscules nodules de la grosseur d'une tête d'épingle et alors très friables.

b) Régions nord et NE du Lac Tchad (Ouadis de Mao)

Les cuvettes où se sont déposés les sédiments de cette série, sont ici aujourd'hui bien enserrées entre les dunes qui les surplombent de 20 à 40 m et occupent des surfaces réduites de quelques centaines d'hectares chacune. Les éléments fins (argile, limon, sable fin) dominent ainsi qu'en témoigne le tableau ci-après :

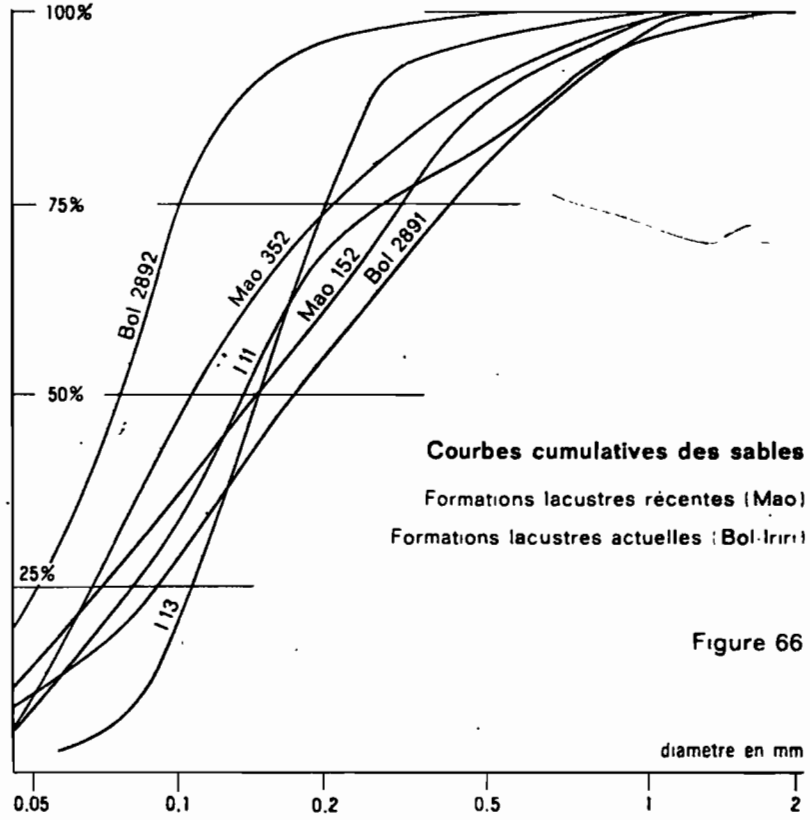


Courbes cumulatives

— Régions Nord et Est du Lac Tchad (Mao)

— Borkou (L)

Figure 65

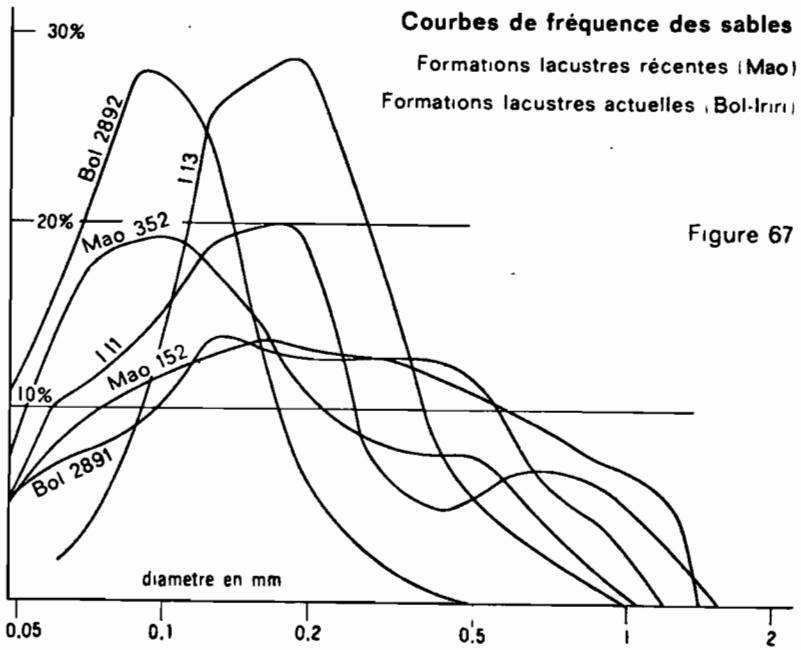


Courbes cumulatives des sables

Formations lacustres récentes (Mao)

Formations lacustres actuelles (Bol-Irir)

Figure 66



Courbes de fréquence des sables

Formations lacustres récentes (Mao)

Formations lacustres actuelles (Bol-Irir)

Figure 67

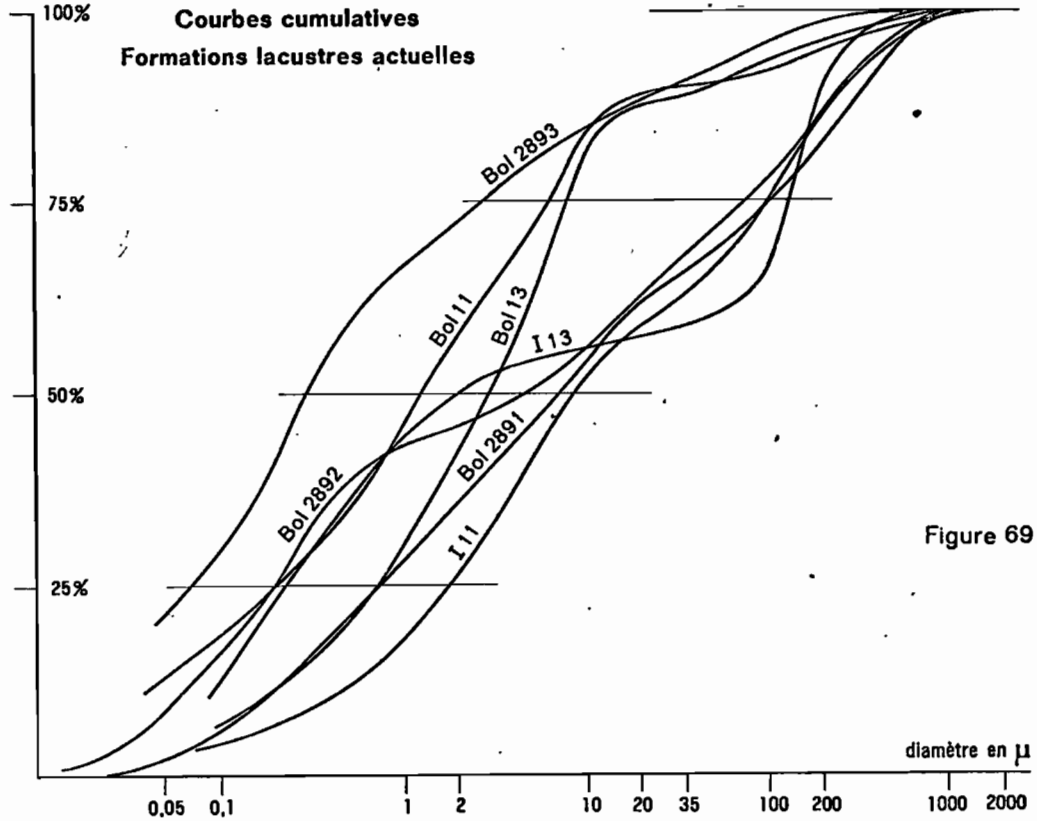


Figure 69

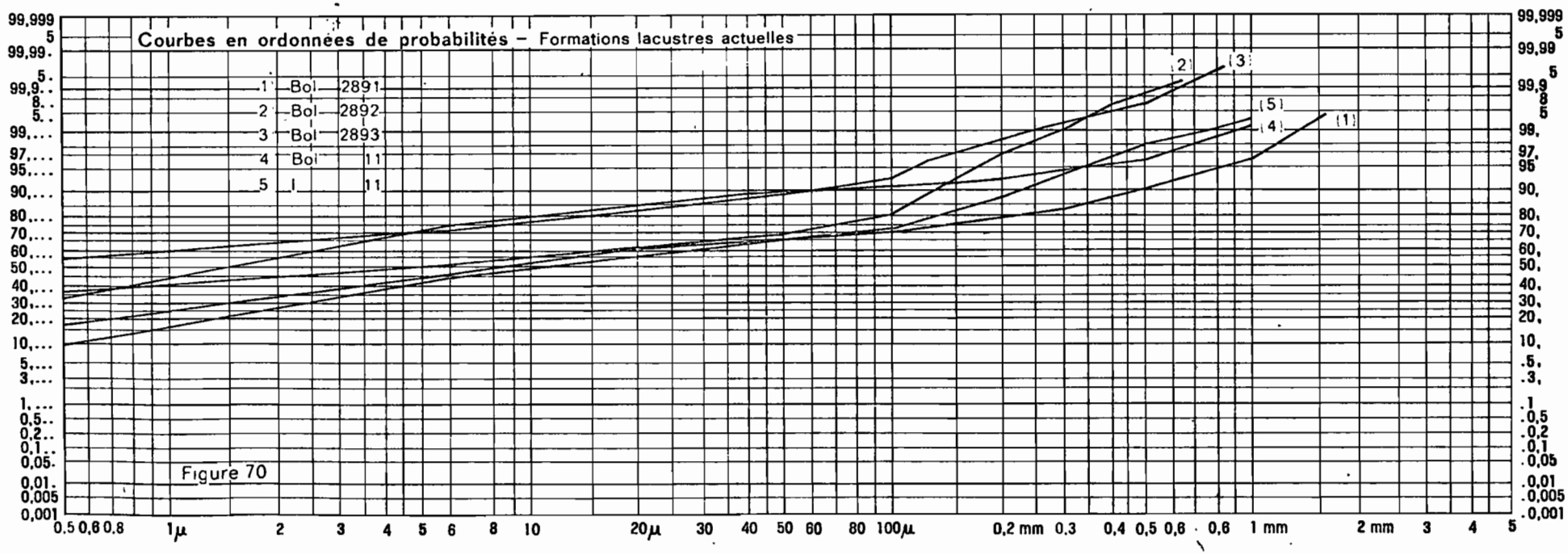


Figure 70

Ouadis	N°	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gross.%	Graviers %	CO_3 Ca %
Ouadi de Kalala	22	39	46	11	4	traces	1,2
Ouadi de Roumbou	152	25	35	25	15	traces	-
Ouadi de Tchili-Illé	352	26	32	32	10	traces	5

Dans l'intérieur d'un même ouadi, existe une assez grande hétérogénéité dans la distribution des sédiments.

Le faciès des courbes cumulatives de ces dépôts est bi (Mao 22) ou plurimodal (Mao 152 - 352) - Figure 65. La fraction argileuse a un faciès peu marqué à tendance parabolique, tandis que la fraction sableuse est faiblemen hyperbolique ou parabolique.

Le faciès des courbes en ordonnées de probabilité est voisin de celui de certains sédiments des bassins des lacs Tchad, Fitri et Iro, mais les pentes sont légèrement plus fortes dans la partie médiane, et aussi plus redressées dans la partie la plus grossière (fig.68).

Les sables sont mal triés (Hétérométrie 0,70 - 1,04), mais fins (médiane 0,102 - 0,148) (fig.66-67). Uniquement quartzeux, les éléments arrondis dominent (48 à 74% pour la fraction 0,8 mm - 60 à 68% pour la fraction 0,5 mm). Les éolisés sont assez abondants (14 à 28%) dont une partie reprise par les eaux. L'indice d'usure est élevé (0,404 à 0,504).

La teneur pondérale en minéraux lourds est variable (0,18 - 0,83%) ainsi que le pourcentage d'opaques (48 - 64%). Les minéraux du 1er groupe dominent : zircon (54 - 58%), tourmaline (18 - 22%), rutile (6 à 14%); ceux du 2ème groupe sont en faible quantité : épidote verte (6%), zoïsite (4%), staurotide, hornblende, disthène. Cette composition est voisine de celle des sables de dunes.

La coloration de ces sédiments est dans la gamme des 2,5 Y, gris foncé ou noir en surface (3/0, 4/0) passant à gris-brun (5/2, 6/2), souvent aussi à blanc en profondeur (8/0).

La fraction colloïdale est à dominance de montmorillonite, la kaolinite est faible. Il y a un peu de calcite et une fine poussière de quartz plus ou moins abondante suivant les échantillons.

Dans les ouadis de Mao, le carbonate de calcium est parfois très abondant dans les sédiments. Il se distribue d'une façon assez homogène sans former de nodules comme dans la région précédente et peut aller jusqu'à donner des encroûtements (30 à 40% de CO_3Ca); son processus de dépôts est en liaison avec des phénomènes anciens ou actuels de remontée de nappe et il est fréquemment associé à la salure.

Des diatomées s'observent aussi dans ces sédiments presque aussi abondamment que dans la dépression du Borkou. Il y a une très forte dominance de centriques (genre Melosira) et en moindre abondance de pennales (genres Navicula, Synedra).

c) Dépression du Borkou

Les sédiments qui couvrent cette vaste dépression très morcelée sont de nature argileuse (40 à 50% d'éléments supérieurs à 2 μ en surface, souvent plus de 70% en profondeur). La fraction limoneuse est également importante : 20 à 40%. Les courbes cumulatives (fig.65) sont à faciès mixte, parabolique pour la partie fine, hyperbolique pour la partie la plus grossière de la fraction argileuse, puisque les sables sont ici pratiquement inexistants. Quelques courbes sont plurimodales.

Les courbes en ordonnées gaussiennes ont des pentes faibles jusqu'à 10 μ, plus fortes ensuite, jusqu'à 0,5 μ, parfois très fortes dans la partie terminale (0,5 à 0 μ) - Figure 68.

La teneur pondérale en minéraux lourds est faible, inférieure à 0,1%. Le pourcentage d'opaques est élevé (80%). Sur deux comptages effectués, puisque les minéraux lourds sont très peu abondants, on note une dominance de zircon (26 et 42%), épidote verte (10 et 14%), staurotide (8 et 10%), zoïsite (6 et 12%) et 12% d'augite qui marque l'apparition du volcanisme au Tibesti.

La coloration de ces sédiments est ici encore dans la gamme des 2,5Y gris à gris clair en surface (5/2) ou beige clair, blanc, blanc crème, beige clair en profondeur (8/2 - 7,5/2).

La fraction argileuse apparaît constituée par un mélange d'illite dominante (40 à 50%), de montmorillonite (25 à 35%), de kaolinite (15 à 30%). On peut observer également un peu de calcite et une fine fraction quartzeuse. Des phénomènes de carbonatation sont également visibles dans ces sédiments, mais moins accusés que ceux observés dans les ouadis de Mao. Les taux de CO_3Ca dépassent rarement 10-15%. Ces sédiments contiennent par ailleurs des quantités importantes de diatomées à dominance de centriques (genre Melosira dominant) auxquelles s'ajoutent des pennales (genres Fragilaria, Tabellaria, Navicula, Surirella).

d) Conclusions sur la série lacustre récente

. Dans les bassins des Lacs Tchad, Fitri, Iro, elle est caractérisée par des sédiments argileux déposés par décantation, parfois sous l'influence de faibles courants comme au voisinage des rivages, de l'embouchure des cours d'eau où la texture devient argilo-sableuse. On y observe des nodules calcaires mais souvent en faible abondance.

Les minéraux lourds de ce faciès sont assez variés sans qu'une dominance le caractérise bien (zircon, tourmaline, épidote, zoïsite, disthène). On notera cependant la présence d'épidote verte dans le bassin des lacs Tchad et Fitri, celle de staurotide dans celui du Lac Iro, celle de hornblende au voisinage des massifs.

. Dans les ouadis de Mao et la dépression du Borkou, les sédiments sont plus limoneux ou plus finement sableux et évoquent un dépôt effectué à la fois en cours de transport (courants faibles à très faibles) et par décantation, ce que confirme le faciès des courbes cumulatives. Ceci peut s'expliquer par des courants très lents qui favorisaient l'écoulement des eaux en direction Nord vers les bas-pays du Tchad et la dépression du Borkou; par des apports éoliens (sables fins, limons).

Les sédiments de ce faciès contiennent, d'autre part, un pourcentage élevé de diatomées qui en font des argiles diatomitiques (dépression du Borkou).

Le calcaire est parfois abondant dans ces sédiments, pouvant aller jusqu'à donner des encroûtements.

Les minéraux lourds sont à dominance de zircon, tournaline, prélevés aux dunes voisines (ouadis de Mao), tandis que l'augite fait son apparition dans la dépression du Borkou où les minéraux lourds sont très peu nombreux.

Cette série est donc apparemment complexe, plus encore si l'on songe qu'elle représente en fait deux transgressions lacustres difficilement dissociables : une première qui a conduit le lac à la cote 310m, une seconde plus modeste où celui-ci évoluait vers la cote 290m et au cours de laquelle s'effectuait encore l'écoulement des eaux vers les bas-pays et la dépression du Borkou.

Ces sédiments ont subi, d'autre part, après leur exondation, une évolution pédologique en relation avec les climats successifs auxquels ils ont été soumis, d'où l'apparente disparité d'une sédimentation initialement complexe :

- vertisolisation et hydromorphie au Sud;
- carbonatation et salure au Nord, dans des conditions plus arides.

3.4.2.4. Formations lacustres actuelles

Nous avons donné précédemment des exemples de sédiments déposés récemment ou même encore en cours de dépôt en période de hautes et moyennes eaux des lacs ou lors de la crue de fleuves. Nous ne citerons ici que ceux formés sous une lame d'eau permanente pouvant atteindre 3 à 5 m. Ils ont été prélevés sur les bordures Est et nord du Lac Tchad dans des polders de création récente (polders de Bol Guini, Iriri, Tchingan, ...) reconquis par l'homme sur le lac. Ces polders sont situés en position particulière, généralement inserrés entre des dunes. (Tableaux en annexe 43-45).

Ces sédiments lacustres sont de texture le plus souvent argilo-limoneuse en surface (40-45% d'argile - 25-30% de limon), mais de plus en plus argileuse en profondeur (70-75% d'argile) et finement feuilletés.

Leur coloration se situe dans la gamme des 10 YR et va du brun-noir (2/1) à gris clair en surface (6/1). En profondeur, elle se tient dans les

gris clairs (5/1, 6/1), tandis que des niveaux bleutés ou noirâtres fortement sulfureux s'observent à plus grande profondeur vers 1,50 m à 2 m.

Les courbes cumulatives (fig.69) sont à faciès divers, hyperbolique (échantillon Bol 2893), bi ou plurimodal (échantillons I_{11}, I_{13}, Bol 2892, Bol_{11}, Bol_{13}) ou dessinent des droites légèrement sinueuses assez inclinées (échantillon Bol 2891), rappelant celles des sédiments de la dépression du Borkou (fig.65). Les courbes en ordonnées de probabilité sont également proches de celles des régions de Mao et du Borkou (fig.70).

Les courbes cumulatives des sables des échantillons les plus sableux sont à faciès très divers, légèrement hyperboliques et très étalées (Bol 2891), binodal avec un point d'inflexion vers 50% (Bol 2892), plurimodal (I_{11}), à tendance logarithmique marquée (I_{13}) - Figure 66.

L'hétérométrie est très variable (0,43 à 1). Les sables sont de grossièreté moyenne à fine (0,079 à 0,160 mm). Uniquement quartzeux, ce sont les grains arrondis qui dominent (28 à 56%), tandis que les anguleux sont faibles (0 à 4%) et que les subanguleux sont très rarement élevés (2 à 28%, exceptionnellement 44%). Les éolisés sont également abondants (12 à 55%), principalement dans l'horizon de surface (Bol 11 - Bol 2891).

L'examen des courbes de fréquence des sables (fig.67) montre pour les horizons de surface (Bol 2891, Iriri 11) que l'on a affaire à un sédiment très mal trié. Ces échantillons correspondent au dépôt le plus récent et seraient le résultat des conditions semi-désertiques régnant actuellement. Au dépôt de la fraction argileuse en suspension dans les eaux du lac s'ajouteraient des apports éoliens, fines particules limoneuses ou sableuses en déplacement dans l'air (brumes sèches), transport brutal par saltation des sables des dunes voisines (vent de sable) pour la fraction la plus grossière.

Le fort pourcentage d'argile observé en profondeur pourrait évoquer une période lacustre plus marquée correspondant au maximum du dernier pluvial (phase humide sur tout l'ensemble du bassin, lac Tchad compris). Ceci expliquerait le peu d'éléments éolisés (16% - échantillon Bol 2893) de la fraction sableuse à l'inverse de ce que nous avons de nos jours (56% d'éolisés dans l'échantillon 2891 et une fraction limoneuse très importante).

D'autres échantillons (Bol 11 et 13) prélevés dans ce même polder donnent des taux d'argile différents, plus élevés en surface qu'en profondeur, ce qui tend à démontrer l'extrême variabilité de ces dépôts sur une surface relativement restreinte; mais le phénomène général demeure, à savoir presque toujours de plus fortes teneurs d'argile en profondeur qu'en surface.

Parmi les minéraux lourds, peu abondants (0,11 à 0,2% avec 56 à 88% d'opaques), il y a dominance de zircon (34 à 72%), de tourmaline (11 à 30%). Arrivent ensuite l'épidote verte (4 à 18%), puis la zoïsite, la staurotide, la hornblende,...

La montmorillonite et la kaolinite constituent l'essentiel de la partie colloïdale. Il y a peu d'illite.

Les diatomées sont très abondantes dans ces sédiments. J.BLACHE (1957) estime que leur densité est trois à quatre fois plus grande que dans les eaux du lac (10 à 50 000 par litre). Le genre Melosira représente environ 90% de la population et le reste 10% (genres Fragilaria - Tabellaria - Navicula - Surirella).

Du calcaire fera son apparition dès que le sol s'exondera (dans le cas présent, il s'agit de polder de création humaine); il tendra très rapidement

à former des débuts d'encroûtement sous ces climats arides en même temps que des phénomènes de salure se percevront. Ces actions pédogénétiques seront alors liées à la présence de nappes peu profondes.

- Conclusions sur les formations lacustres actuelles

Cette série, de coloration uniforme et foncée, finement feuilletée en profondeur, présente des courbes cumulatives pour les échantillons de surface qui rappellent celles observées pour les ouadis de Mao et la dépression du Borkou. Elle apparaît comme le résultat du climat semi-désertique actuel où les dépôts argileux effectués par décantation sont accompagnés de ceux dus à des transports sous de faibles courants et d'apports extérieurs (limon, sables d'origine éolienne).

En profondeur, la sédimentation est, d'une façon générale, beaucoup plus argileuse et les sables, lorsqu'ils existent, sont bien triés ce qui semble démontrer, comme nous l'avons indiqué précédemment, que le dépôt en milieu lacustre s'est effectué pendant une période climatique différente, plus humide, impliquant un accroissement du niveau des lacs, une importance plus grande des courants à l'origine des apports de sables.

Les minéraux lourds sont en faible quantité et à dominance du 1er groupe, tandis que la fraction argileuse est à base de montmorillonite accompagnée de kaolinite, parfois d'illite.

L'apparition de CO_3Ca en quantité importante tendant à donner des encroûtements, le développement de niveaux riches en sels, sont des processus d'évolution de ces sols après leur exondation.

3.4.3. Cordons sableux (J.PIAS, E.GUICHARD 1957)

Deux cordons sableux permettent la connaissance au Quaternaire de l'extension de lacs que l'on peut assimiler à des lacs Tchad anciens (fig.71).

Dans les 2 cas, il s'agit de cordons dunaires situés à l'arrière des plages. Tableaux en annexe 46 à 48.

3.1.3.1. Le cordon sud

Orienté SE - NW dans sa partie camerounaise (Yagoua-Limani) et SW - NE puis SN au Tchad (Bongor Koro-Toro), il forme une ride importante d'une dizaine de mètres de hauteur atteignant parfois plusieurs kilomètres de large. Nous le suivons ainsi sur un millier de kilomètres à la cote 310-320 m, et il se poursuit en Nigéria et au Niger

- au Cameroun par les cours d'eau Mangafé, Ranéo, Motorsolo, Balda, Tsanaga, Boula ...;
- au Tchad par le Logone, le Chari, le Batha de Laïri, le Batha et une multitude de petits bahrs d'importance secondaire.

Il est très morcelé au nord de Bongor, dans la dépression inter Logone-Chari, soit qu'il ait été dégagé postérieurement ici, soit que cette région ait constitué le débouché de ces deux grands fleuves dans le lac. Il n'est plus observé au nord de Koro Toro. Il apparaît comme le rivage d'un lac Tchad ancien. Sa formation est postérieure au dépôt des formations sableuses anciennes remaniées.

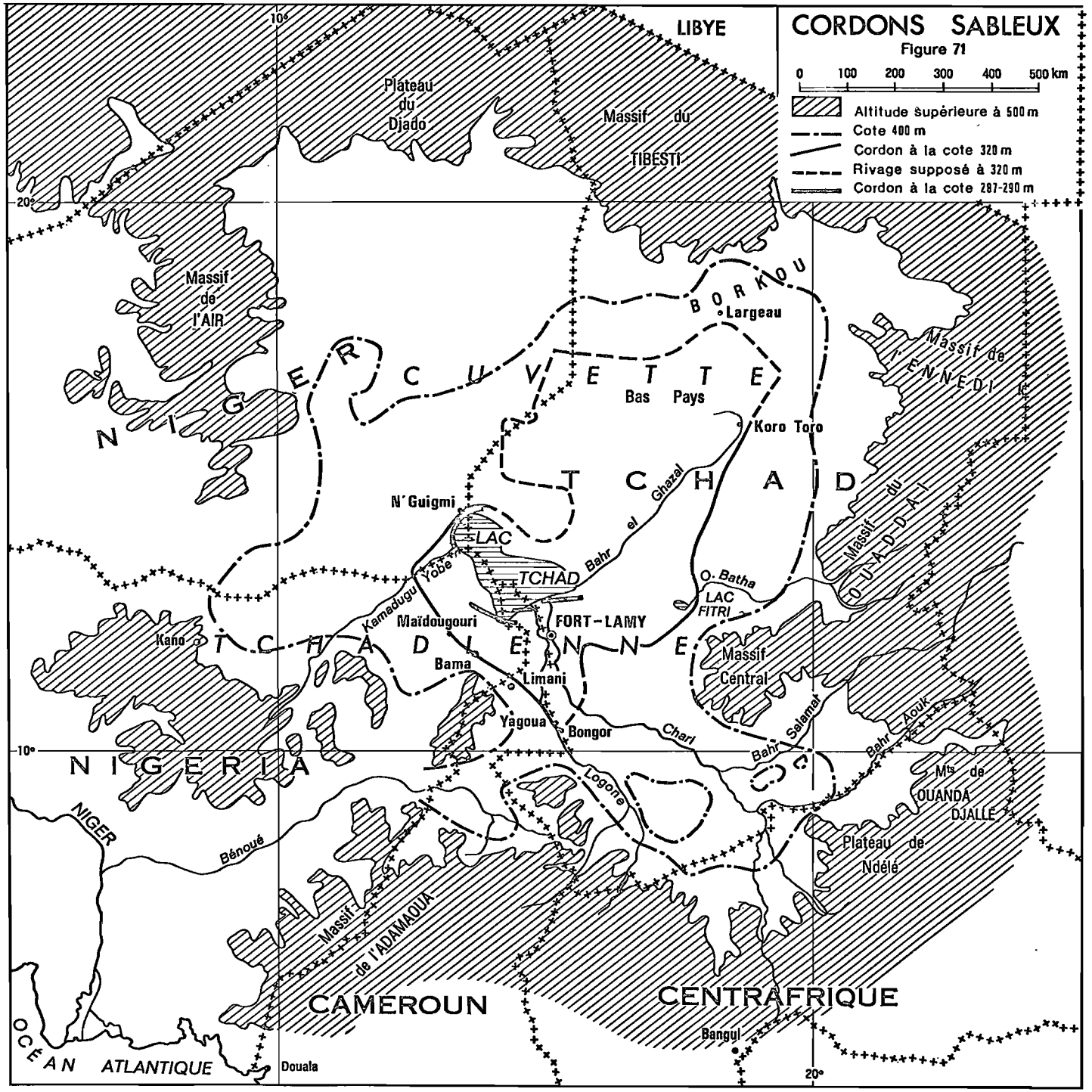
Ce cordon sableux peut prendre différents faciès dans les zones de passage des cours d'eau, par suite de modifications accompagnées d'apports récents. Nous verrons plus loin, lors de l'historique géologique des dernières sédimentations, les conséquences qu'il a eu sur le façonnement du réseau hydrographique.

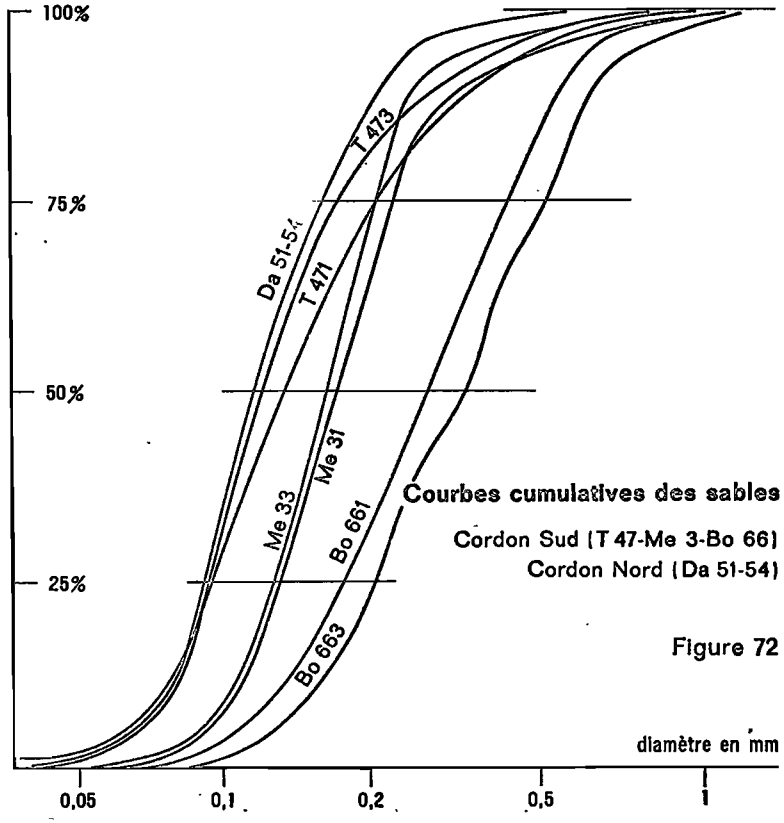
Les sédiments de ce cordon sud, très sableux (moins de 5 à 10% d'argile) apparaissent très diversement triés, assez mal à mal triés (Hét. élevée : 0,55 à 0,70 - Echantillons BO 66 - BO 47) au voisinage des massifs et relativement grossiers (Médiane 0,164 mm à 0,330 mm - Echantillons BO 47 - BO 66 - Me 3), mieux triés en fonction de l'éloignement de ceux-ci (Hét. : 0,31 à 0,52 - Echantillons Me 3 - F 29 - T 47) et plus fins (Médiane : 0,120 mm à 0,160 mm - Echantillons F 29 - T 47).

Les courbes cumulatives des sables (fig.72) sont à faciès souvent mixte, légèrement hyperbolique (échantillons Me 31 - Me 33) ou plurimodal et sinueux (échantillon BO 663).

Les courbes de fréquence sont généralement assez bien redressées (fig.73). En ordonnées de probabilité, les courbes sont sensiblement des droites à peine sinueuses et de pentes moyennes (fig.74).

Parmi les sables, on observe une forte proportion de subanguleux (50 à 81%), assez peu d'arrondis (15 à 18% au maximum). Il y a très peu de grains

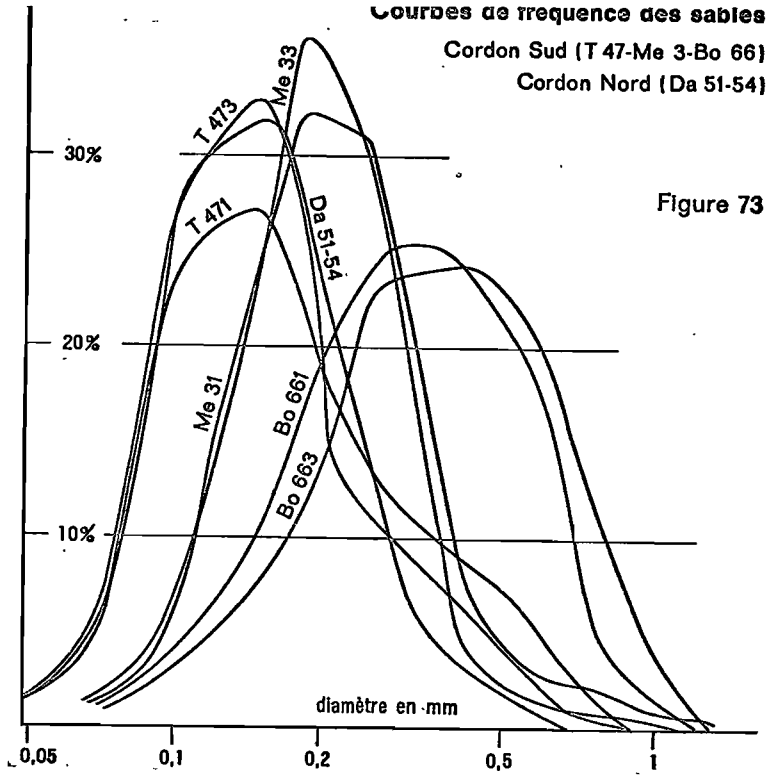

CORDONS SABLEUX
Figure 71
0 100 200 300 400 500 km
Altitude supérieure à 500 m
Cote 400 m
Cordon à la cote 320 m
Rivage supposé à 320 m
Cordon à la cote 287-290 m
LIBYE
Plateau du Djado
Massif du TIBESTI
Massif de l'AIR
NIGER
CUVETTE
Bas Pays
BORKOU
Largeau
Koro Toro
TCHAD
Massif du ENNEDI
Massif du OUADDAI
N'Guigmi
LAC TCHAD
Bahr el Ghazal
Yobe
Kamadugu
O. Batha
LAC FITRI
Maïdougouri
FORT-LAMY
Kano
TCHADIENNE
Massif Central
Bama
Limani
Yagoua
Bongor
Chari
Bahr Salamat
Bahr Aouk
NIGERIA
Mts de OUANDA DJALLE
Logone
NIGER
Bénoué
Plateau de Ndélé
Massif de l'ADAMAOUA
CAMEROUN
CENTRAFRIQUE
Bangui
OCEAN ATLANTIQUE
Douala
10°
20°



Courbes cumulatives des sables

Cordon Sud (T 47-Me 3-Bo 66)
Cordon Nord (Da 51-54)

Figure 72



Courbes de fréquence des sables

Cordon Sud (T 47-Me 3-Bo 66)
Cordon Nord (Da 51-54)

Figure 73

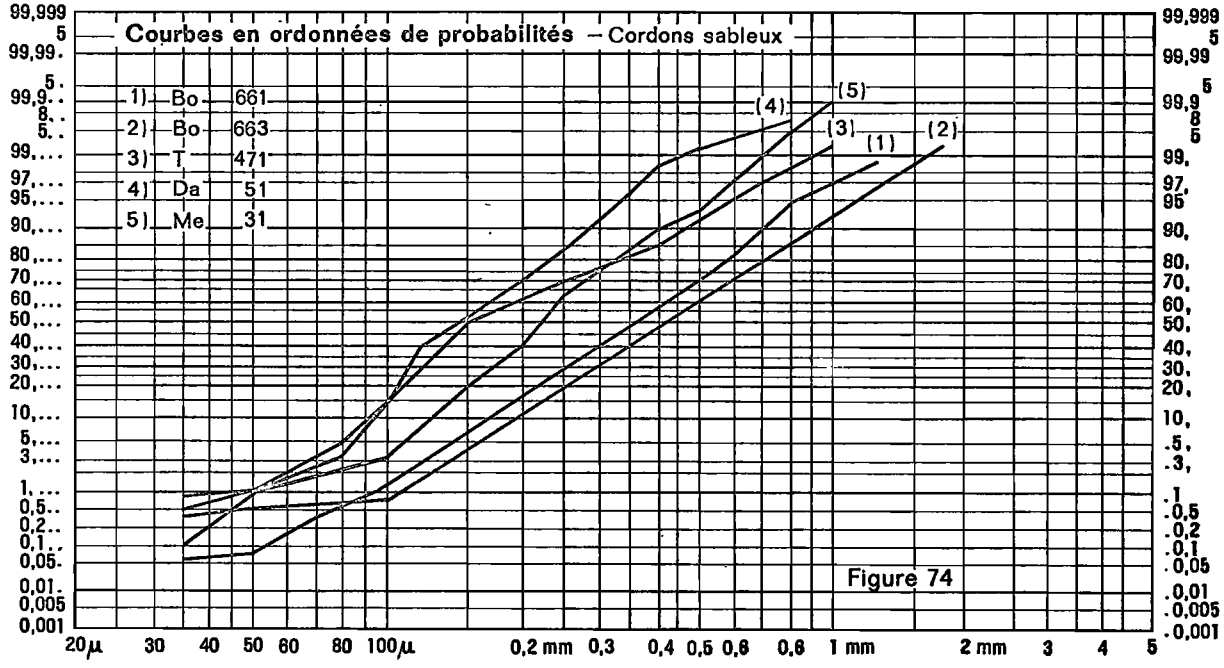


Figure 74

éolisés, généralement moins de 10%. Il n'y a pas d'augmentation vraiment visible de ce pourcentage du Sud vers le Nord. L'indice d'usure est relativement constant (0,156 à 0,248).

Parmi les minéraux lourds, la dominance revient, au voisinage des massifs, au grenat (32 à 40% - Echantillons BO 66), au disthène (44 à 46% - Echantillon BO 47), à la hornblende (39 à 40% - Echantillons Me 3), à l'épidote verte (12 à 24% - Echantillons Me 3 - BO 66 - BO 47). Ailleurs, la staurotide peut occuper une place importante associée soit aux minéraux du 1er groupe (échantillons T 47), soit à ceux-ci et au disthène (échantillons F 29).

On remarquera la forte teneur pondérale de minéraux lourds près des montagnes. Le cordon sableux semble avoir ici servi de "piège" lors d'apports plus récents (échantillons Me 3 - Bo 66 - Bo 47 : 2,3 à 9,8% - 28 à 60% d'opaques).

La coloration des échantillons varie du Sud vers le Nord. Au Sud, ceux-ci sont dans la gamme des 7,5 YR, superficiellement brun, brun rougeâtre en profondeur (6,5/6). Ils passent plus au Nord dans celle des 10 YR et sont dans leurs horizons profonds soit brun-clair ou brun jaunâtre (6/4 - 6/6).

La fraction argileuse est variée, à dominance de kaolinite avec de l'illite au Sud où les vieux sédiments prédominent, à montmorillonite et kaolinite en mélange plus au Nord.

La série constituant le cordon sud apparaît donc relativement jeune. Il semble s'agir soit d'un remaniement de la série ancienne accompagné d'apports (échantillon T 47), soit de sédiments récents déposés par les cours d'eau lors du franchissement du cordon sableux (échantillons F 29 - Bo 47 - Bo 66 - Me 3).

3.4.3.2. Le cordon nord

Orienté W E, il est un remaniement de la série sableuse récente et forme une ride discontinue de moindre importance que le cordon sud.

Dans sa partie camerounaise, au nord de Ngouma et Massaky, il borde encore le lac qu'il surplombe de 5 à 10 m, tandis qu'au Tchad il est situé dans l'intérieur des terres et fragmenté en multiples dunes plus ou moins arasées (dunes de Guirbé, de Soudour al Keil, d'El Mourra, de Ganatir, d'Al Greg, de Bir Kérala ...). A partir de ce dernier village, il disparaît en même temps qu'apparaissent les premières rides du système dunaire d'orientation NW - SE.

Il délimite un lac Tchad dont l'étendue était bien supérieure à celle du lac actuel puisque l'altitude de ce cordon correspond à la cote 287-290 m alors que le lac actuel se situe à la cote 282-283 m.

A une altitude identique, une sédimentation lacustre a été observée sur les terrasses à mi-pente des dunes, tant sur la bordure du lac Tchad que dans le Bahr el Ghazal.

Les sédiments de ce cordon nord, de couleur gris-brun à gris clair (10 YR 5,5/2 - 5,5/3) sont également très sableux (4 à 6, d'argile), peu de limon (2%). Ils sont bien triés (Hét. 0,36) et fins (Médiane 0,120 mm). La courbe de distribution des sables (fig.72 - échantillons Da 51 - 54) a un faciès hyperbolique à tendance logarithmique. Les éléments quartzeux sont accompagnés de quelques micas. Les subanguleux dominent (26 à 50%), ainsi que les émoussés mats ou repris par l'eau (28 à 62%). Il y a peu d'anguleux (2 à 12%) ou d'arrondis (10%). L'indice d'usure est élevé (0,364 - 0,588); ces sables s'apparentent à ceux de la série récente au nord de Fort-Lamy qui tire son origine des vieilles formation sableuses remaniées du Nord du 13è degré déjà très éolisées, mais qui ont subi un nouveau remaniement éolien par la suite. La teneur pondérale en minéraux lourds est faible : 0,2 - 0,3% (zircon, 38 à 56%, tourmaline, 10 à 23% accompagnés d'épidote verte et de zoïsite).

La fraction argileuse est ici composée de montmorillonite dominante et de kaolinite en plus faible quantité (échantillon Da 54).

- Conclusions sur les cordons sableux

Le cordon sud, le plus étendu, est relativement hétérogène. Il le doit à la grande variété de sédiments dont il tire son origine, à des apports récents qu'il a reçus par de nombreux cours d'eau.

Il provient en grande partie, des formations anciennes remaniées aux sables assez bien triés et relativement fins (1). Les minéraux lourds sont alors du 1er groupe et les argiles de type kaolinique. A l'inverse, les apports récents sont souvent plus grossiers, plus mal triés, les minéraux lourds plus abondants (2ème groupe dominant), la fraction argileuse à base de montmorillonite et de kaolinite.

Cette ride importante, malgré son origine éolienne certaine, présente assez peu de quartz éolisés au sud du 13è parallèle. Elle se serait formée sous l'action des vents remaniant les séries sableuses côtières et évoque un lac demeuré à un niveau relativement constant pendant une période climatique humide assez longue. Au cours d'un récent pluvial, les cours d'eau, à la recherche de nouveaux profils d'équilibre, eurent à le franchir, le démantelant, l'arasant ou le recouvrant de leurs dépôts.

Le cordon nord, beaucoup plus modeste et discontinu, plus récent, tire son origine de la série sableuse récente que nous savons très éolisée dans cette région.

---

(1) En fait, au sud du 13è parallèle, ce cordon tire son origine de ces formations, tandis qu'au Nord il est formé de sédiments résultant du démantèlement des formations Continental Terminal ... Paléozoïque de l'Ennedi, du Ouaddaï, formations ayant été primitivement éolisées pour certaines.

4. CONCLUSIONS SUR LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

Les formations sédimentaires occupent de très vastes surfaces dans la cuvette tchadienne et particulièrement au Tchad, où les affleurements du socle sont peu importants, comparés à la superficie totale.

Ces formations sont d'âge différent, de très anciennes (primaires) à très récentes (actuelles). Ce sont cependant les sédiments tertiaires et quaternaires qui dominent largement.

Voici une estimation approchée des surfaces couvertes par ces différentes formations entre le sud du Tchad et le 16è parallèle. Ces estimations ont été faites en prenant pour base l'esquisse géologique au 1/1.000.000 du Tchad (PIAS 1967c).

- Formations paléozoïques et Continental Terminal (grès-argilites) 1%
- Formations secondaires ..... <1%
- Formations tertiaires-quaternaires (sols rouges et cuirasses ferrugineuses (1) 11%
- Formations quaternaires
  - série ancienne remaniée (2) 27%
  - séries fluvio-lacustres 15%
  - série sableuse récente 11%
  - série lacustre récente 11%
  - série fluviatile subactuelle à actuelle 13%
  - lacs 2%

Enfin, le socle cristallin couvre environ 9% de la surface totale dans cette région.

---

(1) Ici sont confondues les cuirasses anciennes et récentes .

(2) Cette série est particulièrement étendue au nord du 13è parallèle.

Nous rappellerons brièvement maintenant les caractéristiques de chacune de ces formations données dans l'ordre chronologique de leur dépôt.

LES FORMATIONS PALEOZOIQUES qui se situent principalement dans la partie nord du territoire en Borkou-Ennedi-Tibesti, sont constituées par des grès ou arkoses à grains moyens à très grossiers, les termes les plus grossiers étant à galets roulés. Ils sont de coloration variée, claire (beige ou blanchâtre) à forcée (rouge violacé).

Leur fraction quartzeuse est à dominance d'anguleux et subanguleux bien que des recristallisations de silice masquent parfois la forme originelle des grains de quartz. Il n'y avait pas de traces d'éolisation visibles dans les échantillons examinés.

Les minéraux lourds sont ceux du 1er groupe à dominance de zircon. Leurs courbes cumulatives ou de fréquence en font souvent des sédiments bien triés (dépôts de plages, dépôts de flux régulier se traduisant par une perte de charge relativement constante d'amont en aval ...).

Dans le massif du Ouaddaï, les grès en surface très réduite ont des caractéristiques voisines, mais un indice d'usure plus élevé, un triage moins bon. Les quartz éolisés sont parfois assez abondants. Les minéraux lourds sont à dominance moins marquée du 1er groupe auxquels s'ajoutent de l'épidote, de la zoïsite, du disthène, de la biotite. Tous ces grès sont intercalés de lits d'argilites de coloration également variée, souvent rougeâtre ou violacée, de nature kaolinique, aux courbes cumulatives à faciès hyperbolique indiquant des dépôts effectués par décantation en eaux calmes sans courant ou à très faibles courants, tels qu'il peut en régner en milieu lacustre.

Les alternances de grès et d'argilites font penser à de multiples cycles de sédimentation.

Ces différentes formations sont intéressantes : non pas qu'une forte pédogenèse actuelle se manifeste dans les régions désertiques où elles se situent, mais parce que leur démantèlement ainsi que celui peut-être d'autres formations, est à l'origine des sédiments tertiaires et quaternaires que nous trouverons dans la partie centrale de la cuvette.

Il apparaît que l'érosion a été plus forte sur l'ensemble du massif du Ouaddaï, où les grès primaires ne s'observent plus que par taches et où les formations secondaires et tertiaires ont totalement disparu ou sont très rares, que dans l'Ennedi, le Borkou et le Tibesti, ceci pouvant être dû à une tectonique assez récente (mouvement de surrection d'ensemble du Ouaddaï), tandis que les régions précitées n'étaient affectées que plus localement.

LES FORMATIONS CONTINENTALES TERMINALES s'observent également dans la dépression du Borkou par des grès à caractéristiques proches de celles des grès paléozoïques du Ouaddaï. On note parfois une forte éolisation des grains de quartz, tandis que les minéraux lourds sont du 1er groupe, mais avec de la

biotite et de l'augite qui est l'indice de manifestations volcaniques récentes au Tibesti. Ces grès sont interstratifiés aussi de bancs d'argilites.

Il existe donc, dans la partie nord de ce territoire, des séries sédimentaires assez proches morphologiquement (grès paléozoïques - grès du Continental Terminal) qui peuvent faire penser à des conditions de formations sensiblement analogues, à savoir des dépôts en milieu lacustre ou marin (mer intérieure) correspondant à des périodes de grandes accalmies (argilites) ou au contraire à des phases érosives plus ou moins puissantes (grès conglomératiques, grès arkosiques, grès, grès argileux, ...).

Nous retrouvons ces différents faciès dans la partie sud du Tchad, où des formations diversement grossières alternent ici encore avec des argilites, principalement au sud du 9è parallèle. Elles atteignent, suivant les auteurs, de 300 à 700 m d'épaisseur. Les grès, les arkoses ou les sables à grains grossiers pour les plus anciens (grès de Pala) allant jusqu'aux galets, moyennement grossiers pour la série intermédiaire, sont de coloration très diverse, blanche et rouge (série moyenne), rouge, violacé,... pour la série inférieure. Les grains de quartz sont anguleux au voisinage des massifs, subanguleux en s'éloignant de ceux-ci en même temps qu'apparaissent des quartz éolisés.

Les minéraux lourds sont surtout du 1er groupe (zircon, tourmaline, rutile), mais on peut noter plus ou moins abondamment du disthène, de la staurotide. La fraction colloïdale est kaolinique au Sud, avec de la goethite et de l'hématite, kaolinique avec des traces d'illite au Nord et des hydroxydes de fer.

Les argilites intercalaires ont une coloration, une composition en minéraux lourds et en éléments colloïdaux (kaolinite dominante, goethite, hématite) identiques à celles des grès-arkoses-sables. Leur dépôt s'est effectué par décantation.

La série supérieure de ces formations continentales terminales a subi une bauxitisation intense et ne subsiste plus qu'au site de Koro, tandis que les séries moyennes et inférieures ont donné naissance par pédogenèse à des formations meubles rouges et des cuirasses ferrugineuses.

Les premières, brun-rouge sombre superficiellement puis rouge sur 4 à 6 m ou plus, sont caractérisées par des sédiments sableux en surface, argilo-sableux à argileux en profondeur (partie sud du territoire), uniformément sableux ou sablo-argileux un peu plus au Nord. Leurs sables souvent assez grossiers à quartz dominant de type anguleux sont peu éolisés, sauf dans les régions les plus septentrionales où la série est figurée par des buttes témoins résiduelles. Les feldspaths sont peu nombreux. Ces formations rouges tirent leur origine des grès, des arkoses, des sables, des argilites du Continental Terminal et présentent des caractéristiques identiques (fraction argileuse, minéraux lourds, ...). Les arkoses semblent avoir eu une place prépondérante. Leur altération profonde et celle des feldspaths conduisant à l'élaboration de kaolinite, seraient à l'origine des sédiments argilo-sableux ou argileux observés.

Les cuirasses ferrugineuses sont soit de nappe et vacuolaires, et alors formées dans le sol lui-même, soit correspondent à des épigénies de grès ou d'argilites. Dans les deux cas, la goethite et l'hématite entrent pour 20 à 35% dans leur composition totale. La gibbsite est plus rarement observée et n'excède pas 10%, sauf sur la surface la plus ancienne et résiduelle de Koro où elle atteint 85%, environ.

LES SERIES ANCIENNES REMANIEES se présentent dans la partie sud sous deux formes.

- Au sud du 10è parallèle, le remaniement des sols rouges s'est fait généralement sur pentes par lessivage oblique de l'argile et du fer, par des phénomènes locaux de colluvionnement, par l'entaillement des formations sous-jacentes ou par faibles transports ... et donnent des formations de couleur claire et plus sableuses. Les caractéristiques de ces sédiments remaniés sont identiques à celles des sols rouges, que ce soit par la morphoscopie des sables, le faciès des courbes cumulatives et de fréquence, les minéraux lourds, la fraction argileuse.

- Entre les 10è et 13è parallèles, le remaniement s'est effectué après érosion, par transport des séries paléotchadiennes supérieure et moyenne qui sont allées se redéposer, après leur ablation, plus en aval dans le bassin du Logone et Chari.

Il s'agit de formations moyennement grossières, diversement triées à quartz dominant et rares feldspaths. Elles sont de coloration gris-brun en surface, jaune rougeâtre sur 2 à 3 m, puis beige clair sauf s'il y a eu action de nappe ancienne ou actuelle. On note alors d'abondantes taches rouille d'hydromorphie. Les quartz subanguleux dominent, les quartz éolisés sont peu abondants bien qu'une éolisation soit visible sur le terrain sous forme de dunes orientées NS mais souvent arasées. Les minéraux lourds du 1er groupe sont moins nombreux. Il y a 3 dominantes : zircon, disthène, staurotide. La fraction argileuse est à kaolinite dominante, mais aussi à montmorillonite et illite diversement réparties.

Il s'agit de formations fluviatiles déposées en milieu lacustre ayant subi un remaniement éolien lors d'une phase aride postérieure. Ces sédiments constituent les premiers dépôts deltaïques d'un Chari dont l'embouchure sur le lac se situait vers Niellim-Miltou.

Dans la partie nord du Tchad (entre 13è et 16è parallèles), les formations anciennes sont aussi moyennement grossières à quartz dominants et rares feldspaths. Leur coloration est brun en surface, brun-rouge ou jaune-ocre ensuite beige ou blanc vers 2 à 3 m. Il y a une dominance de quartz subanguleux et éolisés, les seconds augmentant rapidement du Sud vers le Nord au détriment des premiers. Une forte fraction des éolisés a été reprise par l'eau. L'éolisation est visible par d'importants alignements dunaires NW-SE au voisinage du lac, de même direction ou NS mais de moindre amplitude vers l'Est. Les minéraux lourds sont à dominance du 1er groupe (zircon principalement). La fraction argileuse est ici un mélange de kaolinite et de montmorillonite avec de l'illite en moindre quantité.

Cette série tire son origine, nous le savons, de vieilles formations sédimentaires du Nord et de l'Est (grès, arkoses, argilites, ...), Continental Terminal ..., Paléozoïque, dont certaines sans doute très éolisées prinitivement. Mise en place en milieu lacustre, elle aurait subi, après son exondation, une seconde phase d'éolisation pour donner les alignements dunaires décrits ci-dessus, alignements qui se poursuivent au sud du 13è parallèle.

D'autres caractères observés montrent que cette série a subi ensuite une nouvelle submersion, puis de nouvelles actions éoliennes, ceci plus récemment.

LA SERIE FLUVIO-LACUSTRE ARGILO-SABLEUSE A NODULES CALCAIRES a une localisation très étendue (bassins du Logone et Chari, des bahrs Salamat, Aouk et Keïta - Pourtour du massif central tchadien). Il s'agit d'une formation de texture argilo-sableuse, à cailloutis superficiels et abondants nodules calcaires à coloration brun, brun-olive en surface, brun-jaunâtre en profondeur. La fraction sableuse grossière très mal triée est à dominance quartzeuse, mais à feldspaths abondants dans certains cas. Les quartz sont surtout des subanguleux avec peu d'éolisés. La fraction argileuse déposée par décantation est variable; kaolinique dans le bassin du Moyen-Logone, mixte (kaolinite, montmorillonite avec illite) ailleurs. Les minéraux lourds du 1er groupe dominent, sauf au voisinage des massifs où la hornblende fait son apparition.

LA SERIE FLUVIO-LACUSTRE ARGILO-SABLEUSE A CAILLOUTIS DES "REGS", localisée sur la bordure ouest du massif du Ouaddaï et par taches autour du massif central tchadien, a des caractéristiques identiques à la série précédente, mais présente plus rarement des phénomènes de carbonatation (amas ou nodules calcaires moins fréquents). Elle a une coloration gris à brun clair à taches rouille d'hydromorphie. Parmi les quartz, il y a ici beaucoup plus d'éolisés, ceci étant dû à l'origine ancienne d'une partie de ceux-ci provenant de vieux grès démantelés, préalablement éolisés. La fraction argileuse est surtout de la montmorillonite. Les minéraux lourds contiennent d'importantes quantités de hornblende.

Ces deux séries fluvio-lacustres résultent du dépôt d'un matériau grossier en provenance des séries sédimentaires anciennes et des massifs, dans des cuvettes inondées temporairement ou en permanence. Il a été notamment trouvé des diatomées dans certains échantillons.

LA SERIE SABLEUSE RECENTE présente différents faciès suivant les régions.

Dans les bassins du Logone et Chari et des bahrs Salamat, Keïta et Aouk, deux de ceux-ci se distinguent.

- Un faciès grossier localisé dans les bassins du Sud. La série, très

diversement triée, est alors sableuse à quartz dominants, mais avec un pourcentage important de feldspaths et de graviers dans les horizons profonds. La grossièreté du sédiment est élevée. Celui-ci a une coloration gris, gris-brun en surface, brun jaunâtre en profondeur. Les quartz sont surtout subanguleux, avec quelques éolisés. Parmi les minéraux lourds, si le zircon est abondant, on trouve aussi : sillimanite, disthène, épidote verte, hornblende,.... La fraction argileuse est à base de kaolinite et montmorillonite en codominance, tandis que l'illit est en plus faible quantité.

Le faciès grossier de cette série constitue ici des bourrelets déposés le long de multiples cours d'eau qui parcouraient des étendues marécageuses dans le sud du Tchad. Ces sédiments proviendraient des formations du Continental Terminal et des massifs granitiques.

- Un faciès fin, très bien trié, s'observe dans le nord du bassin du Logone et Chari. Il est à quartz dominants, parfois avec une fraction micacée. Sa coloration est plus uniformément brune. Les quartz sont subanguleux et éolisés, ces derniers étant très abondants dans la partie la plus septentrionale. Les minéraux lourds sont tantôt à dominance du 2ème groupe (épidote verte, staurotide, zoïsite, disthène, sillimanite, hornblende), tantôt il y a codominance des 1er et 2ème groupes. La fraction argileuse est constituée de kaolinite et montmorillonite en mélange.

Il s'agit là de sédiments prélevés aux formations anciennes remaniées :

- à celles du Sud pour la région de confluence Bahr Erguig-Chari (faible éolisation, minéraux du 2ème groupe);
- à celles du Nord pour la région Est et NE de Fort-Lamy représentant un second delta du Chari-Bahr Erguig-Batha de Laïri (1) (éolisation forte, minéraux lourds 1er et 2ème groupes). Ces derniers sédiments auraient subi une nouvelle éolisation après leur dépôt avant d'être à nouveau immergés. Cette éolisation se manifeste notamment par un système dunaire d'orientation SW-NE qui borde le lac Fitri sur ses rives sud et SW.

Dans l'Est du Tchad, la série sableuse récente se présente dans les plaines de piedmont sous un faciès assez grossier à dominance quartzeuse. Il y a peu de feldspaths. Les quartz sont un mélange d'anguleux, subanguleux et éolisés. Ces derniers tendent à augmenter vers le Nord, quand l'apport en provenance des massifs n'est pas très important. La coloration est brun en surface à brun clair en profondeur sur 1m à 1,50m. Les minéraux lourds sont différents suivant l'origine du sédiment :

- épidote verte - 1er groupe (zircon) : grès, formations anciennes remaniées;
- hornblende : massifs

(1) L'ensemble dunaire que l'on perçoit sur les rives du Lac Tchad et plus à l'Est descendait primitivement jusqu'à la hauteur de Fort-Lamy et fut démantelé lors de la formation du second delta.

La fraction argileuse est formée de kaolinite, montmorillonite, illite en mélange.

Ces sédiments d'origine variée ont été mis en place dans des dépressions par d'importants cours d'eau.

Toujours dans l'est du Tchad, s'observent aussi des accolements sableux aux massifs granitiques. Ils ont des caractéristiques voisines et la hornblende est ici très abondante. Ils apparaissent comme des apports éoliens récents contemporains de l'erg du lac Fitri et tirent leur origine des formations sableuses anciennes et des massifs.

Pendant cette période du Quaternaire récent, un important lac s'est étendu sur de vastes régions. Il était ceinturé à la cote 310-320 m par un cordon sableux. La période pluviale qui correspond à cette phase de transgression lacustre a laissé des traces en d'autres régions, elles-mêmes transformées en lacs ou étendues marécageuses (lac Iro - Dépression des bahrs Salamat, Keïta et Aouk). Tous ces dépôts constituent ce que nous avons groupé sous le titre de SERIE LACUSTRE RECENTE.

Dans les bassins des lacs Tchad - Fitri - Iro, ces formations sont de texture argileuse ou argilo-sableuse, de coloration gris-noir, gris-brun foncé sur 1 m - 1,50 m, gris-brun clair à marbrures d'hydromorphie en profondeur. La fraction sableuse est souvent peu importante. Lorsqu'elle existe, elle a été déposée soit par décantation, soit en cours de faible transport. Les quartz éolisés y sont parfois abondants comme au nord de Fort-Lamy ou sur la bordure du lac Fitri. La fraction argileuse a été déposée par décantation et est un mélange de kaolinite et de montmorillonite, avec des traces d'illite. Les minéraux lourds sont très variés, sans dominance spéciale (zircon, tourmaline, épidote, zoïsite, disthène).

Ces sédiments apparaissent donc bien comme d'origine lacustre ou fluvio-lacustre et alors argilo-sableux pour ceux déposés au voisinage d'anciennes zones deltaïques.

Dans les ouadis au nord du lac Tchad et dans la dépression du Borkou, la série lacustre récente est superficiellement de texture limono-argileuse, argilo-limoneuse, souvent très argileuse en profondeur et de coloration gris clair ou gris foncé en surface, beige ou blanc en dessous. La fraction sableuse est peu importante, à dominance d'éolisés et d'arrondis. La fraction argileuse a été également déposée par décantation ou par de faibles courants (courants lents qui pouvaient constituer l'écoulement des eaux du lac Tchad vers les Bas Pays et la dépression du Borkou). La montmorillonite et la kaolinite sont en mélange dans les ouadis au nord du lac, tandis que dans la dépression du Borkou, l'illite est la plus abondante. Les argiles notamment celles du Borkou, contiennent des quantités importantes de diatomées. Les minéraux lourds sont ceux du 1er groupe avec dominance de zircon pour les sédiments des ouadis dont la composition rappelle alors celle des dunes. Dans le Borkou, nous voyons apparaître de l'augite, manifestation du volcanisme du Tibesti.

Ces sédiments lacustres récents représentent en fait ceux de deux extensions successives du lac Tchad qu'il est difficile de dissocier : une première extension (cote 310-320 m), une seconde plus récente (cote 287-290 m).

LE CORDON SABLEUX SUD, qui date de ce Quaternaire récent, se présente comme un alignement sableux à la cote 310-320 m. Il peut atteindre plusieurs kilomètres de large et s'étire au Tchad de Bongor à Koro Toro. Il s'agit d'une formation sableuse diversement triée où les quartz dominent. Il y a peu ou pas de feldspath. La coloration est variable : gris-brun en surface à jaune rougeâtre dans le Sud, brun clair à brun-jaunâtre au Nord. Les quartz subanguleux sont généralement abondants, les éolisés assez faibles jusqu'au 13è parallèle, plus nombreux ensuite. Les minéraux lourds et la fraction argileuse sont à dominance du 1er groupe et de kaolinite, pour les sédiments dérivant des vieilles formations sableuses; à dominance du 2ème groupe et mélange de montmorillonite et kaolinite pour les apports les plus récents.

Cette formation sableuse côtière marque l'extension d'un lac Tchad très étendu au cours du Quaternaire; ce cordon a été recouvert localement par les apports de cours d'eau qui eurent à le franchir lors d'un nouveau pluvial.

Dans une phase très récente du Quaternaire, qui se poursuit jusqu'à nos jours, vont se mettre en place :

- une série fluviatile subactuelle à actuelle;
- une série lacustre récente à actuelle;
- enfin, un cordon sableux marque une nouvelle extension du lac Tchad à une période proche de la nôtre.

LA SERIE FLUVIATILE SUBACTUELLE A ACTUELLE constitue les bourrelets des actuels cours d'eau (Logone, Chari, Batha, Enné, ...) ou de défluents récents (Bahr Erguig, défluents nord de Fort-Lamy, Batha de Laïri, ...). Elle a une texture variable ou prédominent les éléments fins (sables fins, limons, argile). Elle est de couleur brune, parfois à nombreuses marbrures d'hydromorphie.

Le faciès sableux observé par tache mais assez rare, sauf au nord de Fort-Lamy, est constitué de quartz éolisés abondants. Les sédiments sont très bien triés.

Le faciès argilo-limoneux ... limono-argileux est plus fréquent : ses sables sont généralement peu éolisés à dominance de subanguleux. La fraction argileuse déposée soit en cours de transport, soit par décantation est constituée d'un mélange montmorillonite et kaolinite, avec un peu d'illite ou seulement par de la kaolinite dans le bassin du Moyen-Logone . Les minéraux lourds assez variés, ne montrent pas toujours la jeunesse des sédiments (zircon, tourmaline, rutile, staurotide, épidote verte, zoïsite), sauf au voisinage des massifs où la hornblende devient abondante.

Ces formations tirent leur origine :

- de la série sableuse récente au nord de Fort-Lamy;
- des formations anciennes remaniées et de la série sableuse récente (bassin du Moyen-Logone, Est Tchadien);
- des massifs granitiques (Centre et Est tchadien).

LES FORMATIONS LACUSTRES ACTUELLES se localisent dans les trois principaux lacs : lacs Tchad, Fitri et Iro. Elles ont été étudiées principalement dans les polders du Lac Tchad.

Les sédiments sont de couleur gris-noir, brun-noir en surface, gris clair en profondeur, puis bleutés ou noirâtres dans des niveaux très réduits ou à accumulation sulfureuse. Ils sont argilo-limoneux superficiellement, très argileux et feuilletés en profondeur. Cette distribution rappelle celle des ouadis de Mao, mais surtout celle de la dépression du Borkou. La fraction sableuse faible contient une forte proportion d'arrondis et d'éolisés provenant d'apports éoliens des dunes voisines ou de transports sous de faibles courants. La fraction argileuse a été déposée par décantation ou par des courants. Elle est montmorillonitique et kaolinique. Les minéraux lourds sont du 1er groupe. On note l'apparition de carbonate de calcium tendant à donner des encroûtements, et de phénomènes de salure par action de nappe peu profonde dès l'exondation du sédiment, dans le cas présent par création de polders.

La partie supérieure du dépôt, plus limoneuse, semble le résultat de conditions semi-désertiques actuelles, tandis que les dépôts argileux profonds correspondraient à ceux d'un dernier pluvial ayant conduit à une transgression lacustre (lac à la cote 287-290 m).

UN CORDON SABLEUX NORD ceinture le Lac Tchad à cette cote. Il se trouve actuellement légèrement dans l'intérieur des terres. Les caractéristiques des sédiments qui le constituent sont identiques à celles de la série récente au nord de Fort-Lamy. Il s'agit là d'une formation côtière d'un lac plus récent que le précédent et moins étendu.

III - LES SOLS DERIVES DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

Nous entreprenons dans ce chapitre la description morphologique et l'analyse des critères physico-chimiques des principaux types de sols dérivés des formations sédimentaires récentes (Continental Terminal et Quaternaire).

Les profils donnés seront groupés par séries sédimentaires, en même temps qu'il sera tenu compte de leur situation topographique, puisque celle-ci va régir la redistribution des sédiments originels après leur mise en place à la suite d'érosion, de ruissellement ... Nous aboutirons dans quelques cas à la description de toposéquences représentatives des sols constitués dans un certain paysage.

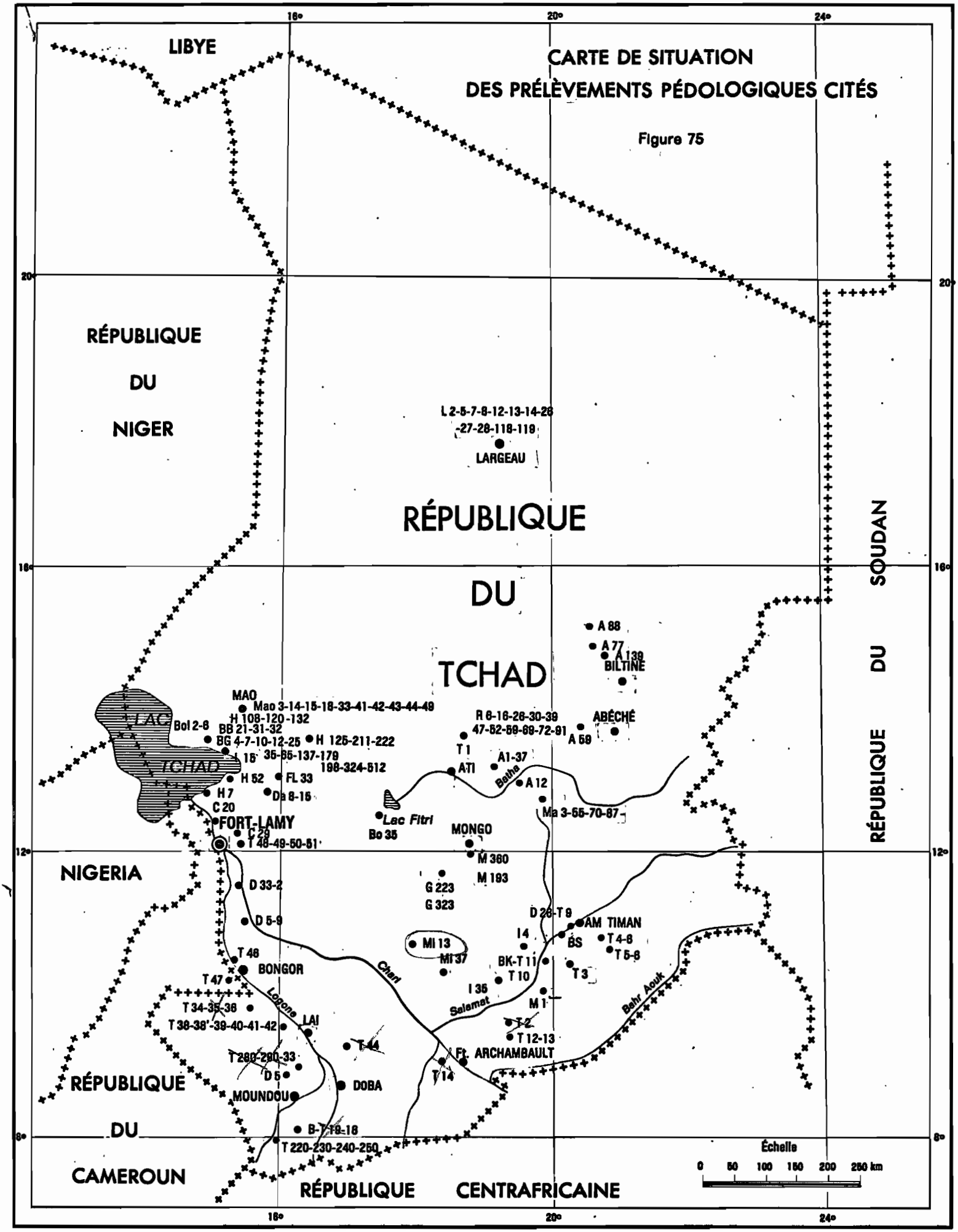
Ces sols seront ensuite mis en place dans le contexte général de la classification française définie par G.AUBERT et Ph.DUCHAUFOUR en 1956, revue en 1963-1964-1965 par G.AUBERT.

Cette classification qui est morphogénétique divise les sols en :

- . classe (caractère de l'évolution)
- . sous-classe (résultat de l'action des facteurs écologiques qui conditionnent l'évolution : pédo-climat en particulier ...)
- . groupe (particularité du processus évolutif : lessivage ...)
- . sous-groupe (intensité du processus ou apparition de processus secondaire).

1. LES SOLS DES FORMATIONS CONTINENTALES TERMINALES

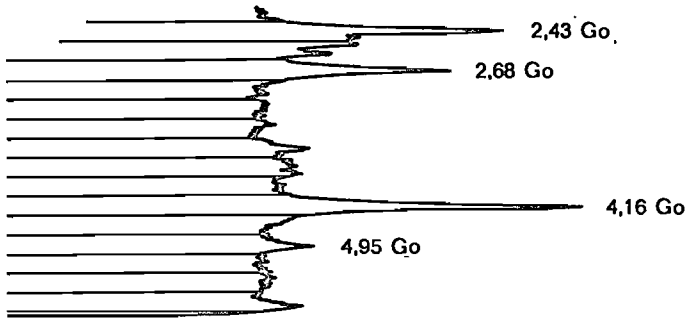
Nous en distinguerons 3 types dans la partie sud du Tchad, assimilant la surface de Koro et celle constituée par la cuirasse ferrugineuse à des vestiges de paléosols.


CARTE DE SITUATION
DES PRÉLÈVEMENTS PÉDOLOGIQUES CITÉS
Figure 75
LIBYE
RÉPUBLIQUE
DU
NIGER
L 2-5-7-8-12-13-14-26
-27-28-118-119
LARGEAU
RÉPUBLIQUE
DU
TCHAD
RÉPUBLIQUE DU SOUDAN
A 88
A 77
A 139
BILTINE
ABÉCHÉ
A 59
R 6-16-26-30-39
47-52-59-69-72-91
MAO
Mao 3-14-15-18-33-41-42-43-44-49
H 108-120-132
LAC
Bol 2-6
BB 21-31-32
BG 4-7-10-12-25
H 125-211-222
15 35-85-137-179
198-324-512
TCHAD
H 52
FL 33
H 7
Da 8-16
C 20
FORT-LAMY
C 29
T 48-49-50-51
T 1
ATI
A1-37
Batha
A 12
Ma 3-55-70-87
Lac Fitri
Bo 35
MONGO
M 360
M 193
G 223
G 323
NIGERIA
D 33-2
D 5-9
D 26-T 9
AM TIMAN
I 4
BS
T 4-6
T 5-6
MI 13
MI 37
T 46
BONGOR
BK-T 11
T 10
T 3
Chari
T 47
I 35
Salamat
M 1
Logone
LAI
Behr Aouk
T 34-35-36
T 38-38'-39-40-41-42
T 2
T 12-13
T 44
Ft. ARCHAMBAULT
T 280-290-33
T 14
D 5
DOBA
RÉPUBLIQUE
DU
CAMEROUN
MOUNDOU
B-T 15-16
T 220-230-240-250
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
Échelle
0 50 100 150 200 250 km
16°
20°
24°
8°
12°
16°
20°

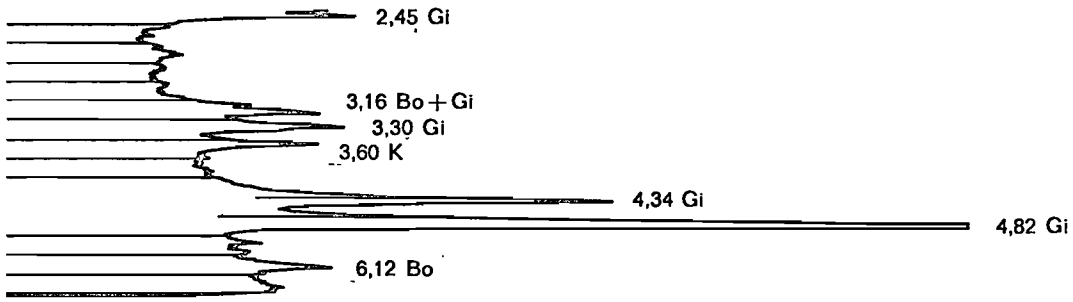
Sols des formations continentales terminales

Diagrammes de rayons x (spectre de poudre)

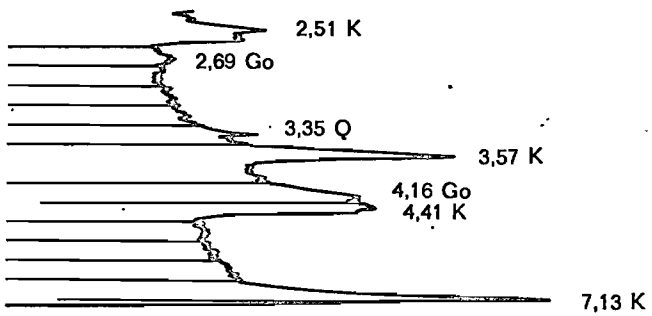
Figure 76



Échantillon T 440

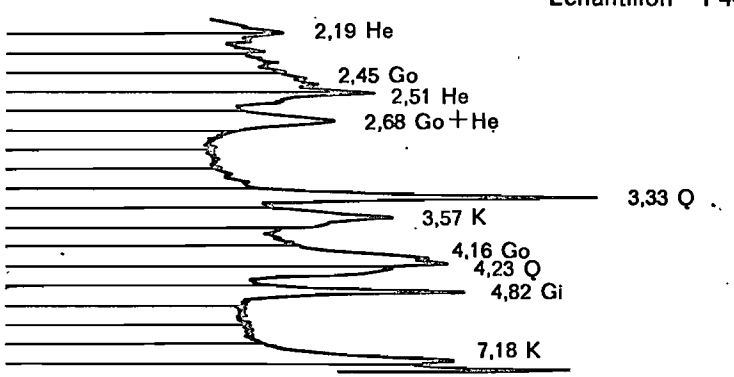


Echantillon T 441

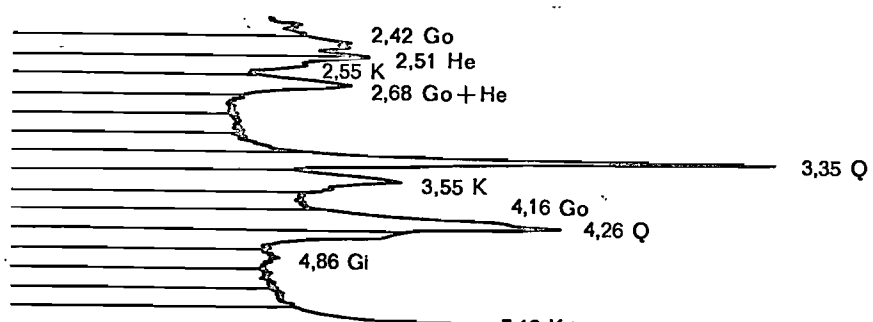


Échantillon T 443

Gi = Gibbsite
Go = Gœthite
He = Hématite
Bo = Bœhmite
Q = Quartz
K = Kaolinite
I = Illite
M = Montmorillonite
C = Calcite



Échantillon T 280



Échantillon T 290

Surface de Koro
- T 440 cuirasse ferrugineuse
- T 441 cuirasse bauxitique
- T 443 argilite

Surface ferrugineuse cuirassée
- T 280 cuirasse ferrugineuse ancienne
- T 290 cuirasse ferrugineuse récente

1.1. LA SURFACE DE KORO

Profil T 44

Localisation : 18 km au sud de Guidari (9°07 latitude nord - 16°40 longitude est).

Pluviométrie moyenne annuelle : 1100 mm.

Topographie : collines surplombant la surface actuelle d'une centaine de mètres.

Végétation : arbres et arbustes en formation très clairsemée.

Roche-mère : argilite de la série paléotchadienne supérieure.

1.1.1. M o r p h o l o g i e

On distingue successivement (figure 20) :

- une cuirasse ferrugineuse très superficielle, épaisse de 20 à 30 cm, de couleur brun-rouille (7,5 R 2,5/2) alvéolaire et quelquefois tapissée de silice recristallisée (échantillon 440). Elle prend parfois un aspect conglomératique englobant des galets de quartz et des blocs du matériau ci-dessous (échantillon 440'). P.WACRENIER (1961).
- Un matériau à structure oolithique lâche et peu développée, de couleur saumon ou blanc rosé (10 R 6/8 et 5 YR 8/4) avec des plages plus foncées (10 R 5/6). Assez friable (échantillons 441-441'), elle devient plus argileuse à la base tout en s'éclaircissant. On distingue alors la trame de la roche-mère originelle, une argile blanche et feuilletée (échantillon 442). Epaisseur : une dizaine de mètres.
- une argile blanche feuilletée sur 10 à 15 m environ (échantillon 443).

1.1.2. Caractères analytiques

Echantillons	440	440'	441	441'	442	443
Humidité %	0,76	0,24	0,28	0,18	0,61	1,08
Perte au feu %	9,97	20,84	29,85	28,51	11,15	13,38
Quartz résidu %	0,75	1,67	1,92	4,20	16,52	2,01
SiO_2 silicates %	6,78	2,46	2,15	3,41	33,46	40,33
Al_2O_3 %	7,00	37,46	60,27	55,68	31,35	34,28
Fe_2O_3 %	75,10	37,50	2,56	5,70	6,68	5,20
TiO_2 %	0,40	1,05	3,00	1,60	1,15	0,30
CaO %	0,12	0,11	0,09	0,09	0,09	0,16
MgO %	traces	traces	traces	traces	traces	traces
K_2O %	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,14
Na_2O %	0,30	0,20	0,24	0,25	0,25	0,40
SiO_2/R_2O_3	0,21	0,07	0,05	0,10	1,59	1,81
SiO_2/Al_2O_3	1,64	0,11	0,06	0,10	1,81	1,99
Al_2O_3 libre% (1)	1,25	35,40	58,45	52,70	2,89	0,04

(1) La formule donnée par D'HOORE permet de connaître la fraction d'alumine libre et celle formant les silicates.

$$Al_2O_3 \text{ libre} = Al_2O_3 \text{ totale} - (SiO_2 \text{ silicates} \times 0,849)$$

L'alumine libre ou amorphe peut être en fait en quantité plus importante si l'on admet l'existence de silice non combinée aux silicates.

Les analyses triacides associées à celles aux rayons X (figure 76) permettent de reconstituer la composition des différents prélèvements.

Echantillon 440

goethite	80% environ
kaolinite	15%
quartz	1%
alumine libre	2%

Echantillon 441

gibbsite / boehmite	85% environ
kaolinite	5%
Fe_2O_3	3%
TiO_2	3%
quartz	2%

Echantillon 442
Roche argileuse altérée

kaolinite	70% environ
goethite	7%
gibbsite	3%
quartz	16%

Echantillon 443
Argile non altérée

kaolinite	90% environ
goethite	5%
quartz	2%

L'examen des teneurs en éléments totaux après attaque au réactif triacide (quartz, SiO_2 combinée, Fe_2O_3, Al_2O_3, TiO_2) appelle les remarques suivantes :

- Teneur en quartz faible dans l'ensemble des échantillons à l'exception de l'échantillon 442 (roche argileuse altérée) qui représente sans doute une passée plus sableuse dans l'ensemble du profil.
- Teneur en SiO_2 combinée, faible dans les horizons 440-441, élevée dans les 442 et 443 (roche argileuse altérée et non altérée).
- Teneur en Al_2O_3 faible en surface (échantillon 440, 7%), élevée en 441 (60%), plus faible dans les 442-443 (31-34%).
- Teneur en Fe_2O_3 très élevée en surface (75%), faible en profondeur dans les divers horizons (inférieure à 7%, roche-mère argileuse comprise).
- Teneur en TiO_2 de 3% dans l'échantillon 441 le plus riche en cet élément, alors que la roche-mère ne contient que 0,3%.

Dans la roche-mère, le rapport $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ est voisin de 2. Il est déjà plus faible dans la roche-mère altérée (1,81), très faible dans les échantillons 441-441' (0,06-0,10) plus fort dans le 440 (1,64). Le rapport $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ suit une variation identique.

L'examen aux rayons X révèle :
- essentiellement de la goethite dans la croûte ferrugineuse superficielle (80%);
- de la gibbsite dominante et de la boehmite (85%), peu de kaolinite dans l'échantillon 441.

- de la kaolinite dominante (70 à 90%) associée à de la goethite et gibbsite (pour les échantillons 442-443).

La description morphologique et les caractères chimiques font donc de cet exemple un profil ferrallitique très typique. Les rapports entre la silice et les hydroxydes montrent que les processus de ferrallitisation ont eu une intensité très forte anciennement dans ces régions, puisqu'ils ont abouti à une accumulation importante d'alumine libre et ceci sur une très grande épaisseur.

Cette surface bauxitique n'est connue qu'en un ou deux points au Tchad. Elle avait été signalée également à Bégangber au sud de Moundou. Nous allons voir que l'analyse révèle une nature totalement différente pour ces échantillons.

1.2. LA SURFACE FERRUGINEUSE CUIRASSEE

Nous citerons 3 exemples parmi les plus caractéristiques,
- de matériaux (grès, argilites) plus ou moins épigénisés,
- de cuirasses ferrugineuses surmontant une roche-mère elle-même épigénisée,
- de cuirasses ferrugineuses ancienne et récente s'intégrant en cascade dans une toposéquence.

1.2.1. Epigénies d'argilites

Profil B, site de Bégangber.

Localisation : 55 km au sud de Moundou (8°10 latitude nord - 16°10 longitude est).

Pluviométrie moyenne annuelle : 1300mm.

Topographie : butte cuirassée surmontant la surface actuelle d'une soixantaine de mètres.

Végétation : arbres et arbustes en formation clairsemée (Monotes kerstingii, Tetrapleura andongensis, Oxynanthera abyssinica).

Roche-mère : argilite et grès ferrugineux grossier de la série paléotchadienne inférieure.

1.2.1.1. Morphologie

La figure 21 a montre la succession des différents horizons suivants :

- horizon induré, cuirasse ferrugineuse brun-rouille (7,5 R 3/6) avec parties plus noires à éclat métallique, très compact, massif et dur. Forte densité, épaisseur 20 cm environ (échantillon B_1).
- Horizon ocre-rouge (7,5 R 4,5/6) avec veines jaune soufre (5 Y 7/8). Assez friable. Densité faible (échantillon B_2).

Présence de pisolithes à peine plus foncées et de plages brun-rouille à aspect stratifié. Elles peuvent atteindre la grosseur d'un pois et former, dans certains cas, de véritables noyaux de 3 à 4 cm de diamètre et parfois 20 cm (échantillon B_3).
Ces pisolithes se présentent en coupe comme une masse brun-rouille très dure, striée de fines lignes parallèles et enveloppées d'un cortex superficiellement plus clair brun-jaune et patiné. Dans la masse elle-même, s'observent des parties plus foncées, légèrement violacées, à éclat métallique.
Ces gros noyaux sont particulièrement visibles dans les éboulis.

- Argiles feuilletées blanches (échantillon B_4).
- Grès ferrugineux assez grossier brun-noir.

L'épaisseur de l'horizon ocre-rouge et des argiles feuilletées atteint une trentaine de mètres, dont la plus grande partie très altérée.

1.2.1.2. Caractères analytiques

Analyses totales aux triacides

Origine	Bégangber			Boum-Kébir		N. de Krim-Krim	
Echantillons	B_1	B_2	B_4	BK 0	BK 1	T 280	T 290
Humidité %	0,85	0,58	0,91	1,30	0,82	1,35	1,82
Perte au feu %	12,21	12,31	13,09	7,86	8,91	10,93	9,36
Résidu quartz %	0,30	0,34	1,42	34,96	28,88	15,47	19,75
SiO_2 silicates %	5,02	35,82	40,59	13,85	17,27	19,44	20,32
Al_2O_3 %	10,70	32,75	34,53	11,85	17,35	24,34	20,52
Fe_2O_3 %	67,52	18,00	7,42	28,47	27,30	28,50	29,32
TiO_2 %	0,30	1,60	2,10	0,45	0,40	0,75	0,80
CaO %	0,21	0,19	0,05	0,19	0,25	0,12	0,12
MgO %	traces	traces	traces	0,10	0,33	traces	traces
K_2O %	0,04	0,08	0,08	0,06	0,19	0,17	0,15
Na_2O %	0,22	0,22	0,17	0,71	0,24	0,27	0,22
P_2O_5 %	-	-	-	0,15	0,27	0,11	0,09
SiO_2/R_2O_3 %	0,16	1,37	1,75	0,80	0,84	0,77	0,87
SiO_2/Al_2O_3 %	0,79	1,85	1,99	1,98	1,59	1,35	1,68
Al_2O_3 libre %	5,68	2,34	0,07	0,10	2,69	7,84	3,27

Examen aux rayons X - Composition

Echantillon B_1

cuirasse ferrugineuse

goethite (	70 à 75% environ
hématite (	
kaolinite	10%
quartz	1%
gibbsite ou produit amorphe	6%

Echantillon B_2

niveau ocre-rouge

kaolinite	75%
goethite (	10%
hématite (	
gibbsite ou produit amorphe	2 à 3%
quartz	1%

Echantillon B_3

pisolithe

goethite

Echantillon B_4

argilite peu altérée

kaolinite	85%
goethite	8%
quartz	1%

On notera que le niveau ocre-rouge est ici constitué principalement de kaolinite consolidée par des hydroxydes de fer, tandis que l'alumine libre est en très faible quantité.

1.2.2. Cuirasses ferrugineuses

Profil BK

Localisation : Boum-Kébir (10°14 latitude nord - 1°23 longitude est).

Pluviométrie moyenne annuelle : 950 mm.

Topographie : plane

Végétation : savane arborée

Roche-mère : formations arkosiques peu consolidées

1.2.2.1. Morphologie

0 - 2,70 m : sol ferrugineux lessivé sableux à sablo-argileux

2,70 - 9,00m : cuirasse ferrugineuse à concrétions brun-rouille, non franchement consolidée et vacuolaire, avec liant blanc à beige intersticiel soudant les concrétions entre elles (échantillon BK 0). On passe progressivement vers 7 à 8 m à une cuirasse d'aspect bariolé (ocre-rouge 7,5 R 4/6, ocre-jaune 7,5 YR 7/8, 5 YR 7/8 jaune et blanche).

9,00 - 12,25 m : matériau arkosique blanc veiné ou moucheté de jaune où les feldspaths kaolinisés se distinguent encore.

1.2.2.2. Caractères analytiques

Analyses totales aux triacides (voir tableau précédent)

Examen aux rayonx X - Composition

Echantillon BK 0

kaolinite	30% environ
quartz	35%
goethite + hématite	30%

Echantillon BK 1

kaolinite	35% environ
quartz	30%
goethite + hématite	30%

On remarquera l'importance prise par les hydroxydes de fer (goethite, hématite), la gibbsite étant pratiquement absente.

1.2.2.3. Autres exemples

Echantillons (1)	M 360	M 1	G 223	G 323	M 193	B S
Perte au feu %	8,80	9,36	5,50	7,70	8,70	9,07
Résidu quartz %	25,60	17,88	53,60	40,30	28,40	8,76
SiO_2 silicates %	14,00	17,72	9,20	10,60	15,90	16,77
Al_2O_3 %	12,10	17,95	8,10	9,90	15,10	19,37
Fe_2O_3 %	32,80	36,36	20,10	28,30	28,00	45,50
SiO_2/R_2O_3 %	0,72	0,73	0,73	0,64	0,81	0,58
SiO_2/Al_2O_3 %	1,97	1,67	1,92	1,81	1,78	1,46
Al_2O_3 libre %	0,30	2,91	0,30	0,90	1,60	5,15

(1) M 360 Région de Mongo — cuirasse vacuolaire en affleurement
M 1 SW du lac Iro — cuirasse vacuolaire en affleurement
G 223 Région de Guéra — cuirasse vacuolaire à 70 cm de profondeur
G 323 Région de Guéra — cuirasse vacuolaire à 80 cm de profondeur
M 193 Région de Mongo — niveau gravillonnaire à 110 cm de profondeur
B S Bahr Salamat — cuirasse pisolithique. Seuil dans le lit du fleuve.

L'examen aux rayons X associé à l'analyse totale, révèle la constitution approximative suivante pour deux de ces cuirasses :

Echantillons	M 1	G 223
kaolinite	40%	20%
goethite (hématite (	40%	20 à 25%
quartz	18%	54%
Al_2O_3 libre	3%	1%

D'autres résultats sont donnés en annexe (tableau 49)

1.2.3. T o p o s é q u e n c e

Echantillons T 280 - T 290

Localisation : N de Krim-Krim en direction de Kélo

Pluviométrie moyenne annuelle : 1050 mm

Topographie : vallée de la Tandjilé

Végétation : savane arborée clairsemée

Roche-mère : argilite ou grès argileux

1.2.3.1. Morphologie

La description des 2 cuirasses a été faite lors de l'examen du site sud de Kélo au chapitre des formations sédimentaires (figure 21 b).

Rappelons que :

- l'échantillon T 280 correspond à la cuirasse ancienne affleurant en position haute; elle est massive, de couleur saumon clair (10 R 6/8) avec des taches plus foncées tendant à former des oolithes diffuses de couleur brun violacé (7,5 R 4/4) avec des passages jaune ocré (5 YR 7/8);
- l'échantillon T 290 est situé dans le voisinage d'une dépression argileuse. La cuirasse récente est légèrement vacuolaire, de couleur brun-rouille (2,5 YR 4/8) avec des taches plus claires (5 YR 7/8) ou plus foncées (7,5 R 4/8). Les concrétions sont unies par un liant beige (10 YR 8/4).

1.2.3.2. Caractères analytiques

Analyses totales aux triacides (voir avant-dernier tableau)

Examen aux rayons X - Composition (figure 76)

Echantillon T 280		Echantillon T 290	
kaolinite	45% environ	kaolinite	45% environ
goethite + hématite	30 à 35%	goethite + hématite	30 à 35%
quartz	15%	quartz	20%
gibbsite	8%	gibbsite	4%

Dans les deux cas, pics de gibbsite visibles à 4,82 et 4,86 Å .

1.2.4. Caractères analytiques généraux des cuirasses ferrugineuses

Ces cuirasses apparaissent de plusieurs types. On peut les classer de différentes façons suivant que l'on prend pour critère leur aspect morphologique ou les composants chimiques.

Nous distinguons :

Dans le premier cas :

. des cuirasses à structure hétérogène

- cuirasses conglomératiques trouvées au voisinage des massifs, dans lesquelles les morceaux de roches sont fréquents.
- cuirasses à gros nodules ou concrétions ferrugineuses.
- cuirasses scoriacées noirâtres formant la partie supérieure la plus fortement indurée et à l'air de la cuirasse.
- cuirasses vacuolaires, les plus fréquentes, "constituées d'un squelette assez lâche, durci, qui est le plus souvent ferrugineux ... et qui limite des cavités renfermant des substances terreuses de couleur plus claire ..." (R.MAIGNIEN, 1958). Ces cuirasses vacuolaires sont aussi formées par un assemblage de concrétions ferrugineuses plus ou moins arrondies, de couleur brun-rouille cimentées entre elles par un liant, continu ou non, sablo-argileux, argilo-sableux jaunâtre ou rougeâtre.

. des cuirasses à structure homogène

- cuirasses pisolithiques trouvées dans certains cours d'eau où elles forment des seuils qui correspondent à des lits de gravillons ferrugineux apportés lors de crues anciennes et ressoudés entre eux.
- cuirasses oolithiques assez rarement observées.
- cuirasses lamellaires en niveaux épigénisés, où va se distinguer la trame du matériau originel (argilite, grès plus ou moins finement feuilletés, ...).

Dans le second cas :

- des cuirasses uniquement ferrugineuses
- des cuirasses où le fer, tout en demeurant l'élément dominant des sesquioxydes, est accompagné de gibbsite en plus faible quantité.

Toutes ces cuirasses sont très variablement durcies, se brisant facilement à la main (1) ou au contraire devant être attaquées au marteau ou à la pioche. Elles sont de couleurs très diverses, avec une dominance de rouge et de brun, mais aussi une grande variété de teintes autour de la couleur principale.

Dans les affleurements de cuirasse, une croûte ferrugineuse plus foncée, scoriacée, très compacte, plus riche en fer, surplombe le niveau décrit ci-dessus. Le pourtour de ces affleurements est parsemé de blocs épars, de gravillons ferrugineux arrondis provenant du démantèlement superficiel.

Dans ce sol, la cuirasse est souvent précédée d'un niveau de gravillons ferrugineux très arrondis qui dénonce des phénomènes de dissolution du fer et une circulation intense des eaux en saison des pluies au niveau de ce milieu imperméable que forme la cuirasse.

Ces cuirasses ont des épaisseurs variables : 2 à 5 et 6 m. Dans les cas les plus fréquents, cuirasses vacuolaires et niveaux épigénisés des roches sous-jacentes apparaissent fréquemment superposés, si bien que l'on peut penser que là où seul se perçoit le niveau épigénisé, la cuirasse vacuolaire a été enlevée soit par érosion mécanique, soit par dissolution et entraînement du fer.

La cuirasse vacuolaire et d'une façon générale les cuirasses à structure hétérogène, traduiraient l'imprégnation en fer d'un matériau relativement meuble, tel un sol, tandis que l'épigénie s'effectuerait sur une plus ou moins grande épaisseur dans sa roche-mère plus consistante.

Tous ces matériaux indurés ont des densités variant entre 2 et 3,5 :

Induration superficielle			Cuirasses anciennes				Cuirasses récentes		Matériaux épigénisés			
Echantillons	B1	I351	BK0	T220	T240	T280	T230	T290	BK1	B2	T182	I352
Densité réelle	3,52	2,69	2,53	2,48	2,66	2,28	2,64	2,55	2,73	2,59	2,61	2,32
Densité apparente	3,26	2,39	2,20	2,25	2,42	2,18	2,48	2,37	2,43	2,04	2,47	2,03

Les cuirasses ferrugineuses ou les roches épigénisées contiennent des quantités variables de Fe_2O_3.

- 10 à 25% dans les matériaux épigénisés (argilites - grès), ce qui a abouti à une simple consolidation, suffisante cependant pour les protéger de l'érosion. Protection accentuée par une induration superficielle quand ceux-ci sont directement en contact avec les agents atmosphériques.

(1) Elles sont alors désignées sous le nom de carapace.

- 20 à 30% dans les cuirasses vacuolaires anciennes, tandis que les cuirasses pisolithiques sont beaucoup plus riches (45% : échantillon BS).
- 30 à 40% dans les cuirasses vacuolaires récentes situées en bas de pente ou dans des parties mal drainées qui s'enrichissent en fer par lessivage oblique, aux dépens des cuirasses anciennes de plateaux et des sols voisins.
- 35 à 70% dans l'induration superficielle qui forme une croûte noirâtre à la surface des cuirasses ferrugineuses ou des matériaux épigénisés.

La goethite est souvent dominante, associée cependant à de l'hématite. Les hydroxydes d'aluminium sont plus rarement trouvés. Il s'agit de gibbsite ne dépassant pas 10% dans l'échantillon le plus riche ou de produits amorphes également en faible quantité.
Les teneurs en titane varient entre 0,30 et 1,60%.

La fraction argileuse emprisonnée dans le réseau d'hydroxydes est de la kaolinite; elle est en proportion variable, suivant la nature du matériau originel :

- argilites épigénisées (60 à 85% de kaolinite pour 10 à 25% de goethite ou de goethite-hématite).
- matériaux argilo-sableux, sablo-argileux (20 à 40% de kaolinite pour 30 à 40% de goethite-hématite).

Le quartz entre de même dans la composition des cuirasses en quantité variable.

Le rapport moléculaire $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ est :

. dans la roche-mère, voisin de 2 (1,99 - échantillon B4).

. dans la roche déjà plus fortement altérée, il décroît (1,89 - échantillon T 352 - 1,94 échantillon T 260 - 1,59 échantillon BK 1).

. dans la cuirasse, il est très variable, le plus souvent inférieur à 2, mais aussi parfois très voisin de ce chiffre (1,35 échantillon T 280 - 1,98 échantillon BK 0).

Le rapport moléculaire $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ peut présenter des valeurs très basses, notamment dans les indurations superficielles tendant à constituer une croûte très riche en fer (0,16 échantillon B1).

Le fer est très largement dominant en regard des très faibles quantités d'alumine libre. Il s'agit essentiellement de cuirasses ferrugineuses, ce qui n'exclut pas cependant la formation de celles-ci pendant une période climatique ferrallitisante. Nous reviendrons sur ceci lors de l'examen des processus de pédogenèse.

1.3. SOLS ROUGES

Ils s'intègrent dans trois types de paysage. Au sud du 9ème parallèle, ils constituent des plateaux occupant d'importantes surfaces profondément entaillées par les vallées. Plus au Nord, on les observe en surfaces résiduelles, soit ennoyées dans des sédiments plus récents au milieu desquels ils ne forment plus que des buttes témoins, soit autour de pointements du socle où la surface ancienne surplombe l'actuelle de plusieurs dizaines de mètres.

1.3.1. Sols rouges de plateaux

Profil T_2

Localisation : Kyabé. 9°28 de latitude nord - 18°56 de longitude est

Pluviométrie moyenne annuelle : 1050 mm

Topographie : zone plane

Erosion non apparente

Bon drainage

Végétation : de jachère après culture de Sorgho : Detarium sp., Grewia sp.; quelques arbres : Butyrospermum parkii, Daniellia oliveri; tapis herbacé de grandes Andropogonées (Cymbopogon giganteus).

1.3.1.1. Morphologie

0 - 10 cm : brun-rouge foncé (10 R 3/6), sableux, humifère, nuciforme. Porosité tubulaire, faible cohésion, racines abondantes, litière végétale superficielle peu développée.

10-45 cm : transition, rouge foncé (10 R 3,5/6) devenant sablo-argileux à partir de 25 cm, polyédrique fin.

45 - 140 cm : rouge (10 R 4/6), sablo-argileux passant à argilo-sableux, pseudo-sables abondants, polyédrique fin à moyen, cohésion plus forte, quelques rares racines.

140 - 400 cm : rouge (10 R 4/6) argileux, polyédrique fin à moyen, plus massif, cohésion moyenne, pseudo-sables abondants, peu ou pas de racines.

Cette dernière coloration rouge se maintient jusqu'à 6 m. Nous passons ensuite à un niveau très bariolé : saumon (2,5 YR 6/6), jaunâtre (5 YR 6/6), jaune ocré pâle (10 YR 8/6), avec des pisolithes brun-rouille (10 R 4/4) et des trainées blanches, qui se prend progressivement en masse tendant à former une cuirasse assez peu consolidée. On observe ensuite de 8 à 18 m un niveau sableux ocre (5 YR 7/8) à taches saumonnées (7,5 R 6/6) et blanches. Ce niveau est de plus en plus grossier et devient rouge à panachage blanc. Un cailloutis quartzeux pouvant atteindre 1 cm de diamètre l'accompagne. Nappe phréatique à 18 m.

1.3.1.2. Caractères analytiques du profil T_2

Tableau I (1)

1.3.2. S u r f a c e s r é s i d u e l l e s

Sols rouges ennoyés dans des sédiments plus récents

Profil T 35

Localisation : 11 km NW de Gounou Gaya. 9°40 latitude nord - 15°25 longitude est

Pluviométrie moyenne annuelle : 1000 mm

Topographie : sommet de butte surplombant de 4 à 5 m la surface d'ensemble

Erosion en nappe légère

Bon drainage

Végétation : savane de reconstitution : Tetrapleura andongensis, Hymenocardia acida, Prosopis africana, Detarium sp., Combretum nigricans, Guiera senegalensis, Anona senegalensis, Asparagus sp., Alysicarpus sp.

1.3.2.1. Morphologie

0 - 20 cm : brun-rouge (5 YR 5/4) sableux, humifère, fondu, compacité et cohésion faibles, porosité tubulaire, enracinement abondant.
20 - 40 cm : transition, rouge clair (5 YR 6,5/6).
40 - 225 cm : rouge (2,5YR 4,5/8), sableux, fondu, compacité et cohésion faibles, enracinement net jusqu'à 100 cm.
225 - 450 cm : identique, apparemment plus sec et plus compact.

La coloration rouge se maintient jusqu'à 8 à 10 m environ, puis l'on passe à un horizon bariolé (jaune-rose-blanc). Nappe phréatique à 19-20 m.

1.3.2.2. Caractères analytiques du profil T 35

Tableau II

(1) Les tableaux analytiques sont donnés à la fin du chapitre III

1.3.3. Surfaces résiduelles

Sols rouges circonscrits autour de pointements du socle

Profil Ma 3

Localisation : Mangalmé. 12°22 latitude nord - 18°37 longitude est

Pluviométrie moyenne annuelle : 530 mm

Topographie : à une cinquantaine de mètres d'une ravine d'érosion encaissée de 2 à 3 m.

Erosion en nappe

Bon drainage

Végétation : champ de culture de Sorgho, Terminalia sp., Hyphaene thebaïca, repousses de Ziziphus mauritiaca.

1.3.3.1. Morphologie

En surface, 2 à 3cm de sables déliés et petits monticules rouge-brun foncé construits par les termites.

0 - 30 cm : rouge-jaune (2,5 YR 4/5), sableux, fondu, légèrement tassé, cohésion faible, porosité tubulaire. Horizon régulièrement strié.

30 - 75 cm : rouge (10 R 3,5/6), sableux à sablo-argileux, polyédrique peu marqué, cimentation plus nette, porosité d'agrégats et tubulaire bien développée.

75 - 280 cm : rouge (10 R 4/6), sablo-argileux, fondu, cohésion et compacité plus fortes, porosité tubulaire assez faible.

280 - 350 cm : rouge (10 R 4/6), sablo-argileux, polyédrique moyen, consistance diminuant tandis que la porosité augmente. Présence de graviers de quartz et feldspaths.

L'observation de puits situés autour des pointements du socle montre que le sol se poursuit avec une coloration identique sur encore plusieurs mètres, puis que l'on passe au niveau bariolé identique à celui décrit dans les autres profils ou à la roche granitique altérée.

1.3.3.2. Caractères analytiques du profil Ma 3

Tableau III

1.3.4. Caractères analytiques généraux des sols rouges

La description de ces profils montre la superposition classique suivante :

- litière végétale faiblement développée;
- horizon brun-rouge sableux à sablo-argileux peu humifère;
- horizon sablo-argileux, argilo-sableux parfois argileux, rouge;
- horizon très tacheté qui repose sur la roche-mère altérée.

Cette dernière est, dans la plupart des cas, soit une arkose ou un grès arkosique dont les feldspaths ont été kaolinisés, soit une argilite kaolinique d'origine sédimentaire. Elle est plus rarement sableuse, sauf pour les sols formés sur la série paléotchadienne moyenne (profil T 35) et certaines surfaces résiduelles circonscrivant des massifs granitiques. Dans le cas le plus général, l'horizon superficiel est sableux, sablo-argileux (argile 5 à 20% - limon 5 à 15% - sables fins 25 à 65% - sables grossiers 10 à 65%).

L'horizon le plus riche en argile s'observe à partir de 60 à 80 cm et se poursuit d'une façon relativement homogène sur une assez grande épaisseur, 5 à 6 m. Cet horizon présente la variabilité suivante : argile 25 à 55% (10 à 25% pour les plus sableux) - limon 5 à 25% - sables fins 10 à 25% sables grossiers 10 à 40%. Figure 77.

On constate une accumulation en éléments grossiers en surface (0-10 cm) consécutive à une érosion en nappe des éléments fins et à un lessivage vertical ou oblique de ceux-ci. L'indice de lessivage, rapport entre l'horizon profond (100 cm) et l'horizon superficiel, varie de 1 à 6,5. On note des chiffres très élevés sur le pourtour des massifs.

En fait, le lessivage oblique est le plus vraisemblable puisque l'on ne perçoit le plus souvent aucun "ventre" sur le diagramme de répartition de la fraction argileuse en fonction de la profondeur (figure 78). L'analyse sédimentologique détaillée d'un profil de ces sols montre que pour différentes fractions colloïdales comprises entre 0,15 et 2 μ , aucune accumulation réelle d'argile n'est visible. L'indice de lessivage représente donc ici l'intensité de départ de l'argile en dehors du profil. L'examen sur lame mince d'échantillons des horizons les plus argileux des profils ne laisse voir par ailleurs aucune accumulation secondaire d'argile enrobant quartz ou micro-agrégats.

L'horizon tacheté (rouge, jaune, blanchâtre) commence à apparaître à des profondeurs variables mais élevées (6 m, 8 m, 10 m) et se poursuit sur plusieurs mètres. Sa composition est voisine de celle des horizons les plus argileux (échantillon T 29$_1$). Il est parfois induré et a l'apparence d'une cuirasse plus ou moins durcie. Le cuirassement peut envahir dans bien des cas les

horizons rouges situés au-dessus de l'argile tachetée.

La coloration de ces sols est dans la gamme des 10 R. Les horizons de profondeur sont rouges (4/6 - 4/8) tandis que ceux de surface sont plus foncés (10 R 3/6) ou dans la gamme des 2,5 YR (4/4 brun-rouge) ou 5 YR (3/4 brun-rouge sombre). Les sols les plus septentrionaux sont souvent d'un rouge plus clair en profondeur (2,5 YR 4/8), brun-rouge en surface (5 YR 5/4 - 4/6). Sous cet horizon superficiel s'observe un horizon de coloration plus pâle, 5 YR 6,5/6.

La structure est assez variable. L'horizon superficiel humifère est généralement fondu ou nuciforme, ou grumeleux. L'horizon profond est souvent polyédrique moyen plus ou moins bien développé, parfois prismatique. Il est à compacité et à cohésion plus fortes. L'instabilité structurale (IS) est faible pour les horizons de surface, souvent inférieure à 0,7. Elle augmente rapidement en profondeur pour dépasser 2 (1).

Les perméabilités sont très diverses à l'intérieur d'un même profil et d'un profil à l'autre. Elles sont souvent relativement élevées en surface (3 - 5 - 7 cm/h) et diminuent en profondeur (2).

La porosité est généralement bonne à assez bonne en surface, de type tubulaire ou d'agrégats. L'enracinement est abondant. Elle est plus faible en profondeur où s'observent peu de racines. Quelques mesures effectuées sur lame mince au compteur de points indiquent des porosités de 15 à 20% dans les horizons de profondeur.

Les teneurs en carbone dans l'horizon de surface (0 à 20 cm) varient entre 0,25 et 1,5% (fréquence maximum entre 0,5 et 0,75% pour des pluviométries supérieures à 1000 mm, entre 0 et 0,25 pour des pluviométries inférieures à 1000 mm). Les rapports C/N présentent des valeurs allant de 9 à 16 (P. inférieure à 1000 mm), de 11 à 19 et parfois plus, 22, 24 ... (P.supérieure à 1000 mm). Figure 79.

Les teneurs en matière humique totale sont comprises entre 1,92% et 0,36‰ dans les horizons de surface (0 - 20 cm), le chiffre le plus bas 0,36‰ ayant été obtenu dans l'échantillon le plus septentrional (P. = 530 mm).

Les taux d'humification $\frac{\text{Matière humique totale} \times 100}{\text{carbone}}$ se situent entre 16,75% et 31,1% dans les horizons de surface. Il y a prédominance d'acides humiques sur les acides fulviques, le rapport $\frac{\text{acides humiques (AH)}}{\text{acides fulviques (AF)}}$ variant entre 1,4 et 5,5 pour ces mêmes horizons. En profondeur, on note :

- une baisse rapide de la matière humique totale

---

(1) IS 0 à 0,40 très bonne structure — 0,70 à 1 moyenne
0,40 à 0,70 bonne — 2 très mauvaise

(2) Kcm/h
- < à 1,5 très mauvaise
- 1,5 à 4 mauvaise à moyenne
- 4 à 8 moyenne à bonne
- > à 8 très bonne

Sols rouges

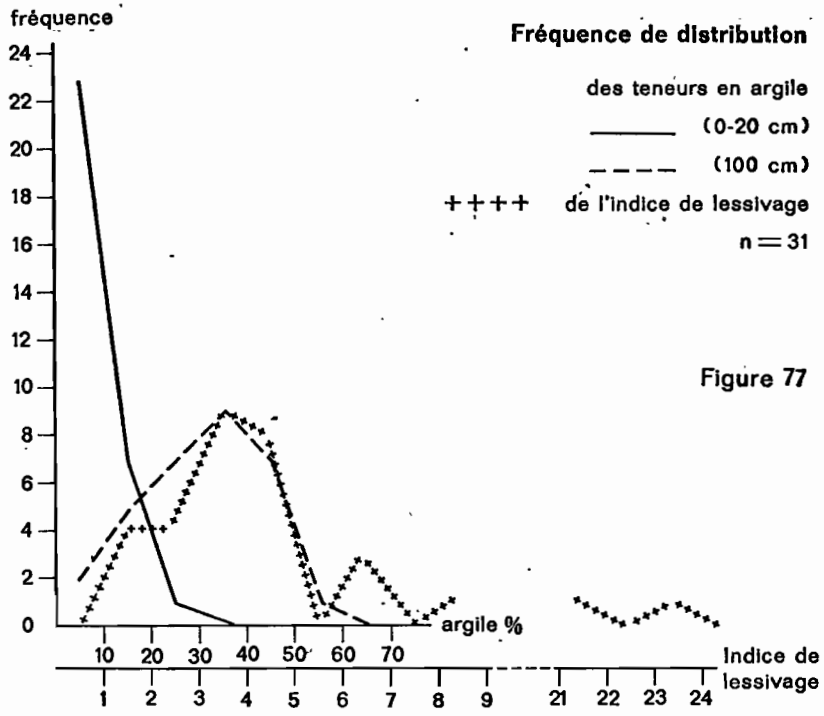
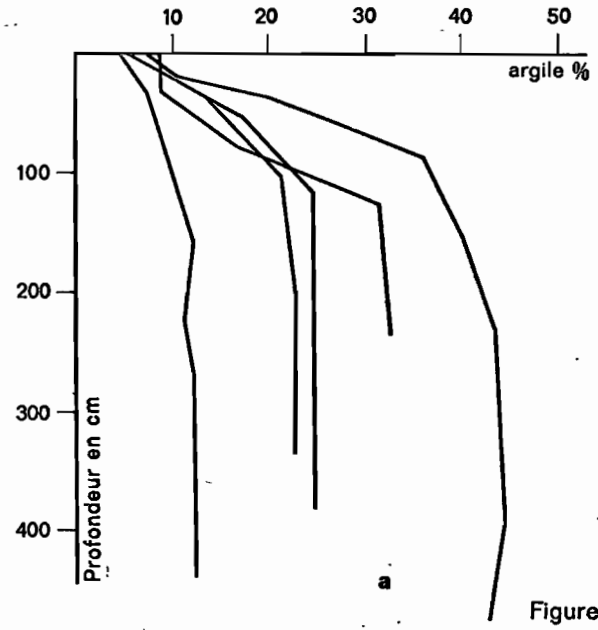


Figure 77

Répartition des teneurs en argile avec la profondeur



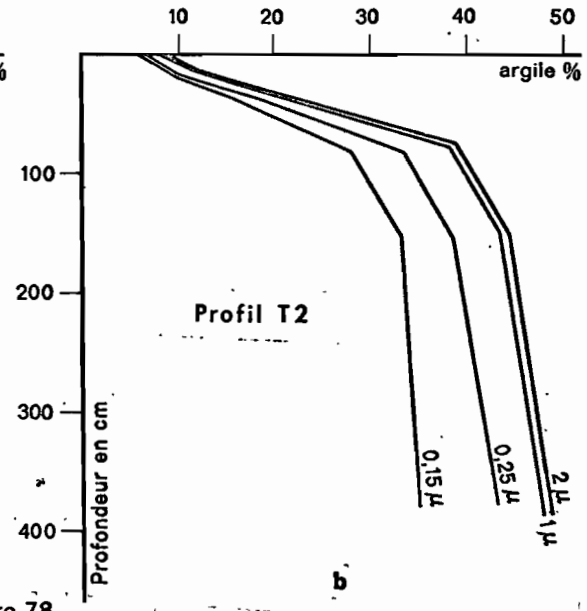


Figure 78

Sols rouges

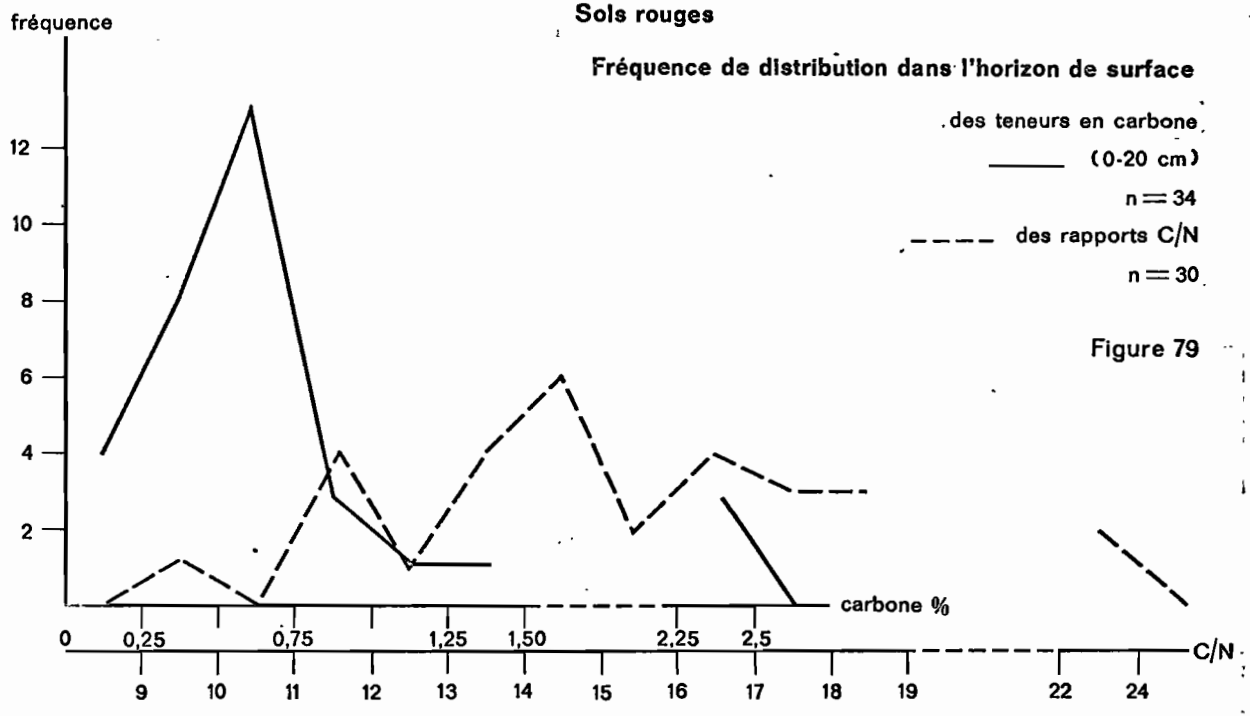


Figure 79

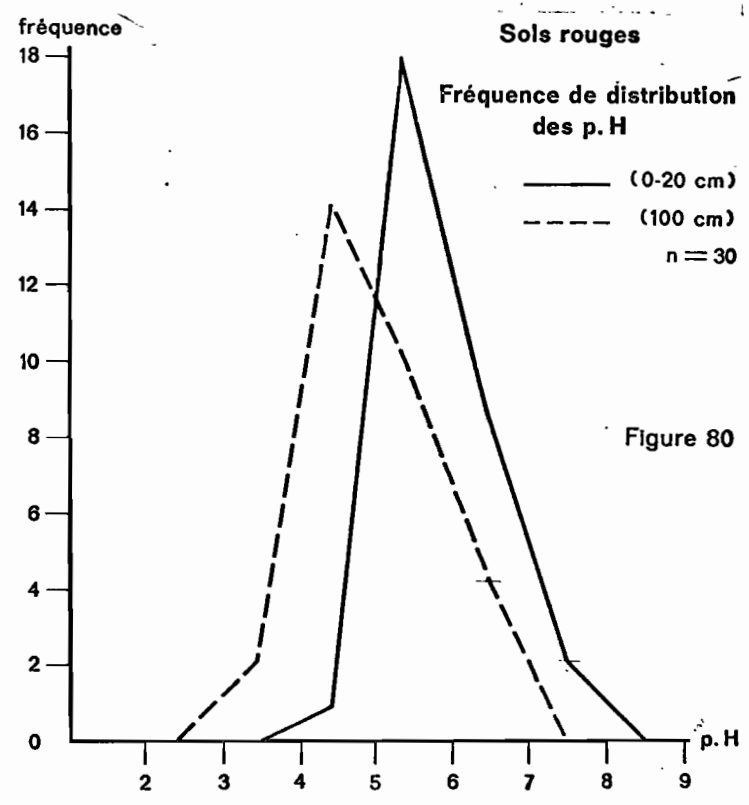


Figure 80

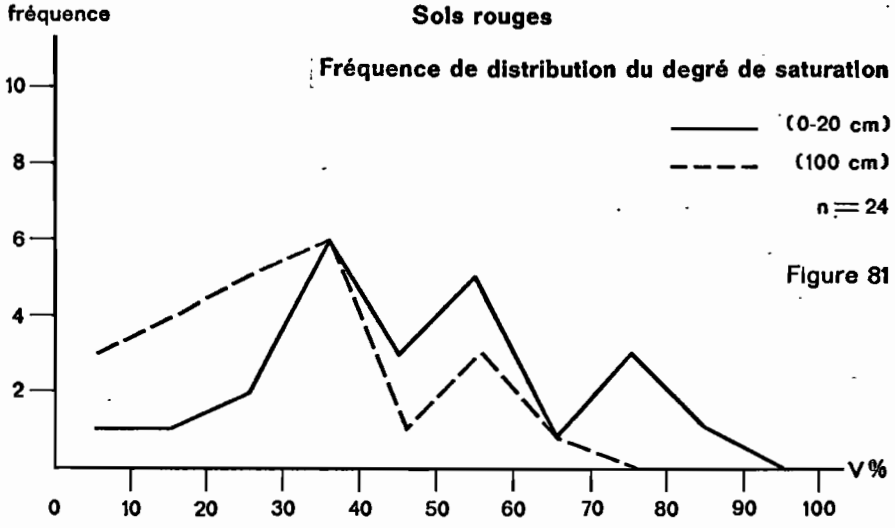


Figure 81

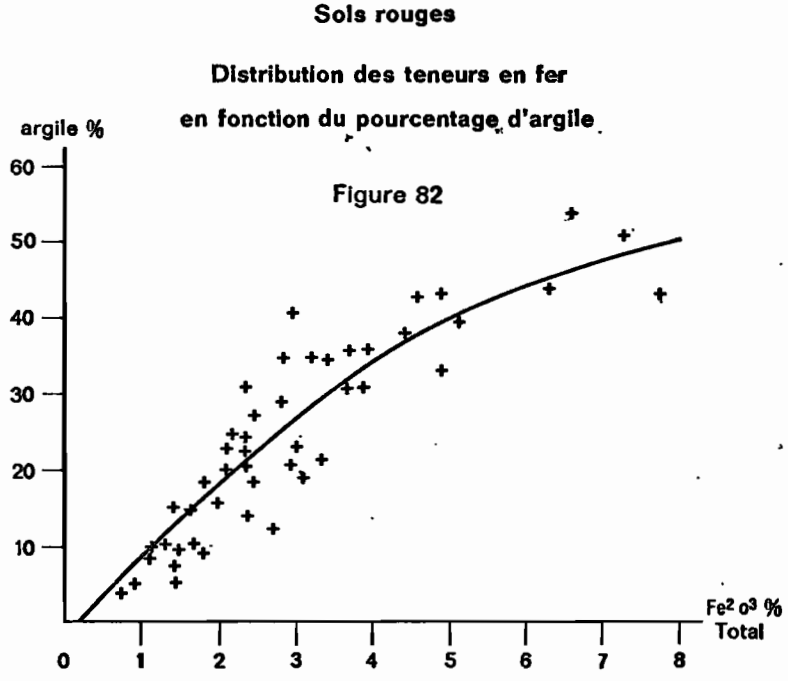


Figure 82

- une variation relativement faible du taux d'humification par rapport à celui de l'horizon de surface
- une décroissance rapide du rapport $\frac{AH}{AF}$ qui devient très inférieur à 1.

Il ne semble pas y avoir, pour les échantillons observés, de variations de ces différents critères en liaison avec la latitude et corrélativement la pluviométrie.

Les pH des horizons de surface ont des valeurs comprises entre 5 et 7, entre 4 et 6 pour les horizons de profondeur. Il y a une remontée légère du pH à plus grande profondeur dans la zone tachetée (figure 80).

Les valeurs de S (somme des bases échangeables) varient de 0,7 à 5,15 me % (P supérieure à 1000 mm) et de 1,1 à 3,95 me % (P inférieure à 1000 mm) dans l'horizon humifère. La fréquence la plus observée se situe entre 1 et 2 me % (P $>$ à 1000 mm) et entre 2 et 3 me % (P $<$ à 1000 mm). Les chiffres sont donc voisins dans les 2 cas, bien que les échantillons prélevés au nord de l'isohyète 1000 mm soient beaucoup plus sableux.

L'ion Ca est dominant, mais il peut partager cette dominance avec l'ion Mg et le rapport Ca/Mg est parfois inférieur à 1, tant en surface qu'en profondeur.

L'ion K varie de 0,9 me % à des valeurs inférieures à 0,1 me %. Celles-ci sont en général plus faibles en profondeur qu'en surface. L'ion Na est le plus souvent inférieur à 0,1 me %, on note quelques chiffres de 0,2 et 0,4 me %.

Le coefficient de saturation est compris en surface entre 10 et 90% avec un plus grand nombre de valeurs groupées entre 30 et 60% (P $>$ à 1000 mm). Pour des pluviométries inférieures, la dispersion est beaucoup plus grande. En profondeur, le coefficient se situe entre 10 et 70%, mais avec un maximum de valeurs entre 10 et 40% (figure 81).

Le quartz, la silice combinée, le fer, le titane, l'alumine ... dosés dans le sol après une attaque au réactif triacide, nous donnent les relations suivantes :

- la teneur en quartz généralement élevée en surface décroît rapidement en profondeur; elle constitue la part la plus importante de la fraction sableuse à laquelle s'ajoutent des pseudo-sables et de petites concrétions.
- les teneurs en SiO_2 combinée, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, augmentent en profondeur rapidement dans les premiers 50 cm, moins ensuite.
- le rapport $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ est généralement élevé dans l'horizon supérieur du profil : 2,5 - 3 parfois supérieur à 3. Il est très voisin de 2 dans les horizons sous-jacents (1,89 T 24 - 25 à 45 cm; 2,13 T 143 - 100 à 120 cm; 2,14 T 195 - 220 à 240 cm ...), plus faible dans certains cas (1,8 Mi 132-133 - 60 à 80 cm - 120 à 140 cm; 1,53 T 29$_1$ - 700 cm dans la zone tachetée).

Ces rapports sont relativement constants quelle que soit la latitude; ainsi dans le profil Ma 3 le plus septentrional, le rapport est très légèrement supérieur à 2 (2,24 en surface, 2,10 à 320-340 cm). Il ne semble pas y avoir, pour ces régions, de relations entre la pluviométrie et ce rapport

- le rapport moléculaire $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ suit une courbe sensiblement parallèle à celle du rapport précédent. Dans certains profils, on observe un décrochement vers 80 cm ou plus profondément 180 cm, dans un niveau fortement enrichi en Fe_2O_3 présentant une cuirasse ou un début de cuirassement (Mi 13 - Mi 37).

Les teneurs en Fe_2O_3 augmentent avec le pourcentage d'argile (figure 82). L'observation de lames minces de ces sols montre une étroite association des hydroxydes et de l'argile. Cette liaison fer-argile, relativement stable, est à l'origine des pseudo-sables.

80 à 90% du fer total est sous forme dite libre.

La fraction colloïdale ($< 2\mu$) est à dominance de kaolinite, à laquelle s'ajoutent de la goethite ou de l'hématite (10 à 12% de Fe_2O_3) et de l'illite dans les échantillons les plus septentrionaux (T 355 - Ma 35). Figure 83.

Echantillons T 21, T 23, T 192, T 321, D 51	kaolinite 80 à 90% hématite, goethite 10 à 12%
Echantillons T 353, Ma 35	kaolinite 70 à 80% illite 5 à 10% hématite, goethite 10 à 12%

Les éléments traces sont très diversement représentés dans ces sols (tableau 50 en annexe). Certains sont en teneurs faibles à moyennes (Pb, Sn, Sr, Li, Rb, Cu, Ni), moyennes à fortes (Zn, Ba), fortes à très fortes (Zr, Mn). Des éléments ont des teneurs variables suivant les échantillons (Cu faible, profil T 35 - Co fort, profils D 5 - Ma 3 ...). On note parfois des augmentations de la teneur de certains éléments avec la profondeur dans un même profil.

Il est intéressant aussi de signaler la disproportion existant entre les valeurs du strontium moyennes à faibles et du baryum toujours élevées. Cette disproportion qui se note dans les séries sédimentaires anciennes disparaîtra dans les séries récentes.

Le zirconium est de même anormalement élevé. Nous avons vu que parmi les minéraux lourds, le zircon occupait une place souvent importante.

Les fortes teneurs observées en manganèse liées aux pH acides de ces sols peuvent être la cause de toxicité pour les organismes végétaux.

Les caractéristiques générales de ces sols rouges sont celles de profils ferrallitiques typiques :

- grande épaisseur du profil 3 à 7 m, généralement 4 à 5 m.
- profils de type A_1, A_2 - B_1, B_2 ou A_1, A_2 (B_1), B_2.
  A l'horizon humifère A_1, de faible épaisseur, succède un horizon de transition A_2B_1. L'ensemble représente 30 à 80 cm. Ensuite se développe un

horizon B_2 de plusieurs mètres d'épaisseur, rouge, homogène morphologiquement et analytiquement. En profondeur, le passage aux matériaux se réalise par l'intermédiaire d'horizons bariolés, sans doute d'origine hydromorphe (nappes ou engorgements anciens).

- couleur rouge des horizons non humifères, la grande majorité se trouvant dans les gammes du code Munsell : 2,5 YR et 10 R, les teintes (value) variant entre 4 et 5 et les intensités (chroma) entre 6 et 8.
- faible teneur en limon de l'horizon B.
- pH compris entre 6 et 7 en surface, diminuant nettement en profondeur (4-5).
- taux de saturation en bases dépassant rarement 50% en profondeur.
- absence ou rareté des minéraux primaires.
- rapport SiO_2/Al_2O_3 généralement voisin de 2.
- fraction argileuse constituée par de la kaolinite, en mélange avec des hydroxydes de fer (goethite, hématite) et très rarement d'alumine (gibbsite). On peut observer aussi de faibles quantités d'argiles micacées de type illite, ceci pour les sols les plus sableux et au N du 9è parallèle.
- hydroxydes de fer (10 à 12%) liés aux surfaces des argiles, sans redistribution locale.

Quelques sols diffèrent cependant des sols ferrallitiques par certains caractères chimiques ou morphologiques.

- rapport $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ parfois légèrement supérieur à 2.
- présence d'un horizon A_2 légèrement blanchi dans les sols les plus sableux, pour des pluviométries inférieures à 1000 mm, due à la migration d'hydroxydes de fer.

La répartition géographique de ces sols rouges au nord du 9è parallèle, où ils ne s'observent plus qu'en buttes témoins isolées, montre bien leurs caractères de paléosols, vestiges de climats tropicaux humides anciens. La pédogenèse actuelle se marquerait seulement pour certains d'entre eux par le départ d'une partie des hydroxydes de fer des horizons supérieurs du profil, tandis que la majorité des caractères hérités serait conservée.

Le processus de ferrallitisation n'a pas donné lieu à d'importantes accumulations de gibbsite comme nous en avions trouvées dans la surface résiduelle de Koro. On observe seulement ici des quantités très modestes d'alumine non cristallisées. Les raies de la gibbsite n'apparaissent pas, ou rarement, à l'analyse aux rayons X.

2. LES SOLS DES FORMATIONS ANCIENNES REMANIEES

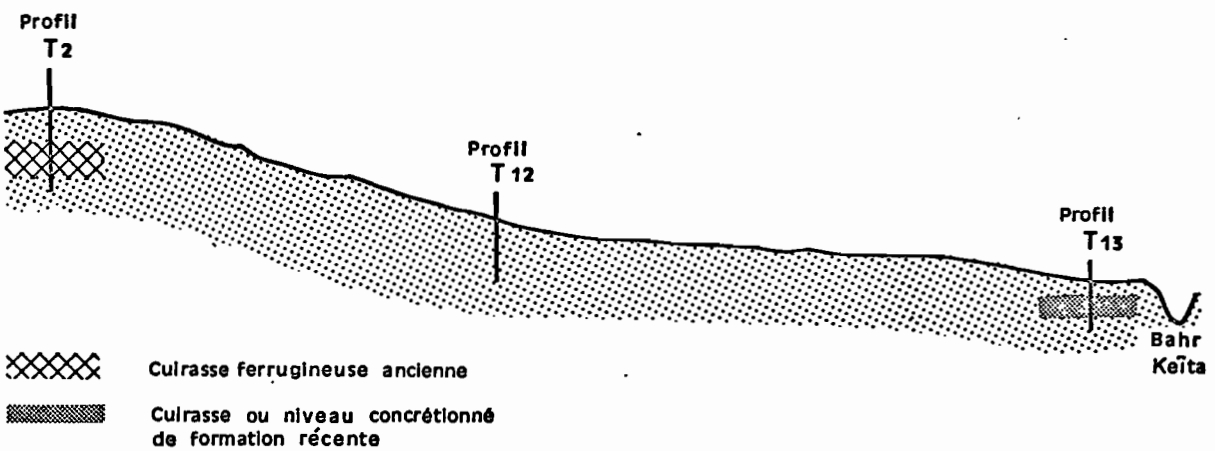
Nous distinguerons deux groupes de sols différents :

- ceux formés sur des sédiments remaniés localement à la suite de phénomènes de faible amplitude tels le colluvionnement, le lessivage oblique des produits colloïdaux et du fer ...
- ceux formés à partir d'un matériau ancien ayant subi un rajeunissement à la suite d'importants transports. Ce matériau peut alors avoir perdu une partie ou même la totalité des caractères pédogénétiques hérités de la phase antérieure.

2.1. SOLS DERIVES DES FORMATIONS ANCIENNES CONTINENTALES TERMINALES APRES UN REMANIEMENT LOCAL DE CES DERNIERES

Ils se localisent dans le même domaine que les sols rouges précédents. En fonction de la topographie, se distribue dans un même paysage la toposéquence schématisée dans le croquis suivant relevé près de Kyabé :

- sur le plateau ("Koro") : sol rouge classique (profil T 2, présentant en profondeur une cuirasse ou un horizon concrétionné
- sur pente : sol de couleur claire, ocre puis beige (profil T 12) passant en bas de pente à un sol hydromorphe à horizon d'accumulation du fer (profil T 13).



Cette succession est la plus communément observée au sud du 9è parallèle où les formations de plateaux constitués par les sols rouges occupent des surfaces considérables profondément entaillées par des vallées.

Dans les parties les plus accidentées, les sols ocre faisant la transition entre les sols rouges et les sols beiges sont inexistants ou d'étendues réduites. A l'inverse, dans une topographie faiblement mamelonnée, sols beiges et sols de bas de pente peuvent être très réduits ou totalement absents, tandis que dominent les sols ocre.

2.1.1. Sol beige et sol de bas de pente : profils T 12, T 13

Localisation : Kyabé. 9°28 de latitude nord - 18°56 de longitude est

Pluviométrie moyenne annuelle : 1050 mm

Topographie : la dénivellation entre le profil T 2 et T 13 est de 40 m environ (Kyabé 407 m, dépression du Bahr Keïta 367 m) en 6,500 km.

Morphologie

Profil T 12 : sol beige, humide après une pluie lors du prélèvement.

Végétation : jachère à Terminalia sp., Detarium sp., Butyrospermum parkii ...

Topographie : sol de pente

Erosion en nappe légère

Bon drainage

0 - 20 cm : gris (10 YR 5/1) sableux, humifère, fondu, compacité et cohésion faibles, porosité tubulaire peu marquée, fort enracinement.

20 - 40 cm : transition, gris clair (10 YR 5,5/1).

40 - 90 cm : beige rosé (7,5 YR 6,5/4) identique à l'horizon supérieur avec présence de 2 raies formant 2 lignes plus sombres (7 YR 6,5/2) épaisses de 5 à 10 mm et plus argileuses.

90 - 250 cm : beige rosé (7,5 YR 6,5/4), sablo-argileux passant progressivement à argilo-sableux vers 140 cm. Tendance polyédrique moyenne, porosité tubulaire très faible, très compact, cohésion moyenne à forte, nombreux petits orifices de $\frac{1}{2}$ cm, parfois plus; ségrégation du fer peu visible, par marbrures légères et plus foncées.
Très rares racines.

250-340 cm : beige rosé plus clair (7,5 YR 8/4), argilo-sableux, identique à l'horizon précédent, mais taches rouille plus abondantes.

340 - 440 cm : de plus en plus blanchâtre (10 YR 7/1) argilo-sableux et taches rouille très abondantes.

Profil T 13 : sol de bas de pente

Végétation : jachère à Pseudocedrela kotschyi, Hymenocardia acida, Khaya senegalensis, Terminalia avicennioides, Detarium sp. ...

Topographie : pente légère, vers la dépression du Bahr Keïta.

Erosion non apparente.

Drainage déficient.

0 - 20 cm : gris-noir (10 YR 3,5/1), sableux, fondu, compacité et cohésion faibles, porosité tubulaire, nombreuses racines.

20 - 50 cm : brun pâle (10 YR 6/3) avec quelques marbrures rouille, sableux, fondu, compacité et cohésion faibles, porosité tubulaire assez marquée.

50 - 110 cm : brun pâle (10 YR 6/3) avec taches brun-rouille de plus en plus nombreuses, sableux, fondu, cohésion faible, compacité plus forte que dans les horizons supérieurs. Porosité tubulaire assez bien développée. Racines peu nombreuses.

110 - 165 cm : identique, mais taches rouille et rouges très marquées, compacité et cohésion plus fortes.

165 - 195 cm : beige à brun très pâle (10 YR 7/3) avec taches brunes et rouges parfois durcies, sableux à sablo-argileux, humide, massif.

195 - 205 cm : gris-rosé (7,5 YR 6,5/4) à taches et concrétions brunes ou brun-rouille (5 YR 5/6 - 2,5 YR 5/6) tendant à donner un début de cuirassement, sablo-argileux, humide, massif.

205 - 260 cm : gris de gley (7,5 YR 7/0) à taches brunes ou brun-rouille, argilo-sableux, humide, massif.

260 - 360 cm : brun pâle (10 YR 6/4) à taches rouille, un peu moins argileux, humide, massif.

2.1.2. S o l o c r e : p r o f i l T 36

Il fait partie d'une toposéquence avec les profils T 35 (sol rouge), T 36, T 34 (sols beiges de pente et de bas de pente).

Localisation : 11 km nord-ouest de Gounou Gaya. 9°40 de latitude nord - 15°25 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 1000 mm

Végétation : jachère identique à celle du profil T 35 cité précédemment. Hymenocardia acida plus abondant.

Topographie : sol de pente (3 à 4%).

Erosion en nappe légère.

Bon drainage.

0 - 30 cm : gris-brun (7,5 YR 4,5/2), sableux, humifère, fondu, cohésion et compacité faibles, porosité tubulaire.
30 - 60 cm : transition, plus clair passant à gris ocre.
60 - 150 cm : ocre (5 YR 6,5/8) jusqu'à 100 cm, puis ocre clair (7,5 YR 7/6), sableux, fondu, cohésion et compacité faibles, enracinement important jusqu'à 80 cm, encore élevé ensuite.
150 - 330 cm : ocre (7,5 YR 7/5) à marbrures plus foncées (7,5 YR 7/8) et concrétions ferrugineuses en voie de formation, mais friables (7,5 YR 5/6 - 5/8), sablo-argileux, légèrement humide.

2.1.3. Caractères analytiques des profils T 12, T 13, T 36

Tableaux IV, V et VI

2.1.4. Caractères analytiques généraux

Pour les sols de bas de pente qui constituent les thalwegs où serpentent les cours d'eau, la variabilité est très grande, fonction de la topographie. Le matériau qui s'accumule tire, en partie, son origine des régions plus lointaines. Aussi ces sols seront-ils étudiés avec les formations sédimentaires récentes. Les exemples donnés ici ne le sont que pour mettre en évidence des accumulations ferrugineuses.

Les descriptions des autres profils (sols béiges et ocre de pentes) montrent les successions suivantes :

- un horizon A_1 humifère, d'une vingtaine de centimètres avec une matière organique bien mélangée à la fraction minérale, de couleur gris à gris clair, à structure fondue.
- un horizon A_2 de couleur claire, beige ou ocre, lessivé, de 20 à 60 cm, mais parfois plus développé, à structure fondue.
- un horizon B_1 plus argileux, de couleur beige ou jaune rougeâtre, à structure polyédrique, de compacité assez forte. Cet horizon débute vers 1 m, parfois 1,50 m.
- un horizon B_2 également plus argileux et à accumulation ferrugineuse avec apparition de taches et concrétions ferrugineuses de couleur rouille.
- un horizon B_3 à concrétions très nombreuses. A ce niveau très souvent, se produit un engorgement dû à une nappe perchée temporaire.

- un horizon C difficilement délimitable. Il s'agit plutôt d'une continuation du B_3 jusqu'à ce que l'on observe un changement dans la nature du matériau.

L'ensemble des horizons A_1 ... B_3 C peut atteindre 2 à 3 m.

L'horizon de surface est sableux (0 à 10% d'argile). L'horizon le plus riche en argile commence vers 150-200 cm (25 à 45% d'argile).

Les courbes de distribution de l'argile des horizons en fonction de la profondeur ne présentent pas de "ventre" d'accumulation. L'augmentation est croissante avec la profondeur, puis les taux d'argile deviennent relativement constants. De même les courbes de distribution de différentes fractions argileuses d'un même profil (0,15 μ, 0,25 μ, 2 μ) en fonction de la profondeur se présentent d'une façon analogue (figure 84).

Le rapport du taux d'argile de l'horizon de profondeur sur celui de l'horizon de surface (indice de lessivage) varie entre 3 et 8. Il est plus souvent voisin ou supérieur à 5.

Il ne semble donc pas y avoir de lessivage vertical de l'argile, mais un lessivage oblique de celle-ci. La fraction argileuse ainsi lessivée sortirait du profil. Sur lames minces, il n'a pas été observé dans les horizons les plus argileux de revêtements secondaires d'argile sur les quartz ou les agrégats.

La coloration de ces sols se situe dans les gammes des 5 YR et 7,5 YR, ocre (7/8), beige rosé (7,5 YR 7/4), beige (10 YR 7/4) pour les horizons de profondeur, tandis que les horizons superficiels sont plus foncés.

L'horizon de surface a une structure fondue qui devient polyédrique moyenne à tendance parfois massive en profondeur, en même temps que la compacité et la cohésion augmentent légèrement. L'instabilité structurale faible à moyenne en surface (0,5 à 1) augmente en profondeur où elle est souvent supérieure à 2.

La porosité est tubulaire, elle est élevée en surface, moindre en profondeur (1).

L'enracinement est abondant sur 1 m et parfois plus.

Les teneurs en carbone dans l'horizon de surface des sols ocre et beiges varient entre 0,25 et 1% et décroissent rapidement en profondeur, tandis que les rapports C/N se situent entre 15 et 20.

Dans l'horizon de surface, les teneurs en matière humique totale sont comprises entre 1,17 et 1,92%, les taux d'humification entre 20 et 35%. Il y a prédominance des acides humiques sur les acides fulviques. En profondeur, on observe une baisse rapide de la matière humique totale, tandis que les taux d'humification varient assez peu, le rapport $\frac{AH}{AF}$ décroît également très vite.

---

(1) Voici quelques chiffres relevés dans des horizons B

sols ocre	T 334	23,4%	T 364	10%
sols beiges	T 124	6,5%	T 125	8,1%

Ces mesures ont été effectuées sur lame mince au compteur de points.

Les pH de l'horizon de surface sont compris entre 5 et 6,5 et décroissent rapidement en profondeur (4 et 5). Certains profils présentent un léger relèvement de ces pH dans les horizons profonds.

Les valeurs de S dans l'horizon humifère oscillent entre 2,5 et 4 me %; elles s'abaissent à faible profondeur (50 à 100 cm) pour être souvent inférieures à 2 me % et se relèvent dans les horizons les plus profonds (3 à 6 me %).

Les ions Ca et Mg dominent et le rapport Ca/Mg est, dans des cas assez fréquents, inférieur à 1.

L'ion K est peu abondant, en général inférieur à 0,3 me %.

L'ion Na est égal ou inférieur à 0,10 me %; il atteint exceptionnellement 0,30 - 0,35 me % dans certains horizons profonds.

Le coefficient de saturation est voisin pour les exemples retenus de celui observé dans les sols rouges précédents.

Les teneurs en éléments totaux se distribuent comme suit :

- quartz élevé en surface, décroît avec la profondeur;
- SiO_2 combinée, Al_2O_3 augmentent en profondeur;
- Fe_2O_3 croît avec la profondeur et le pourcentage d'argile (figure 85 a) mais moins rapidement que dans les sols rouges précédents (figure 85 b). Les teneurs en Fe_2O_3 dans les sols ocre et beiges sont plus réduites.

Les figures 85 c et 85 d montrent la migration du fer des sols rouges de plateaux vers les dépressions voisines. Chacune de ces figures représente une toposéquence - sol rouge (T 2 - T 35), sol ocre ou beige de pente (T 12 - T 36), sol de bas de pente (T 13 - T 34).

Les rapports moléculaires $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ sont supérieurs à 3 dans les horizons superficiels, moindres dans les horizons profonds et voisins de 2 (sol ocre T 36, sol beige T 20), plus élevés dans les sols de bas de pente (T 13 et T 34).

Les rapports moléculaires $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ présentent des courbes parallèles aux précédentes, avec des chiffres légèrement inférieurs.

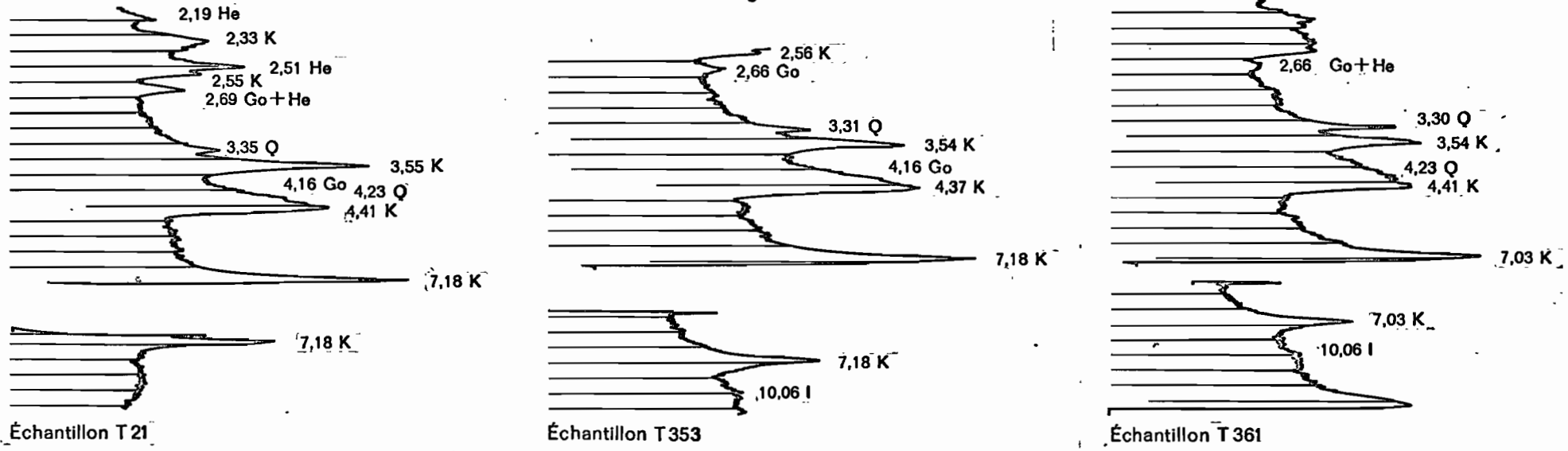
La fraction argileuse des sols ocre et beiges est constituée par de la kaolinite à laquelle s'ajoutent un peu d'illite, de la goethite et de l'hématite en faible quantité (figure 83).

Les caractéristiques des sols ocre et beiges tiennent à la fois de celles des sols ferrugineux tropicaux, des sols ferrallitiques et des sols hydromorphes.

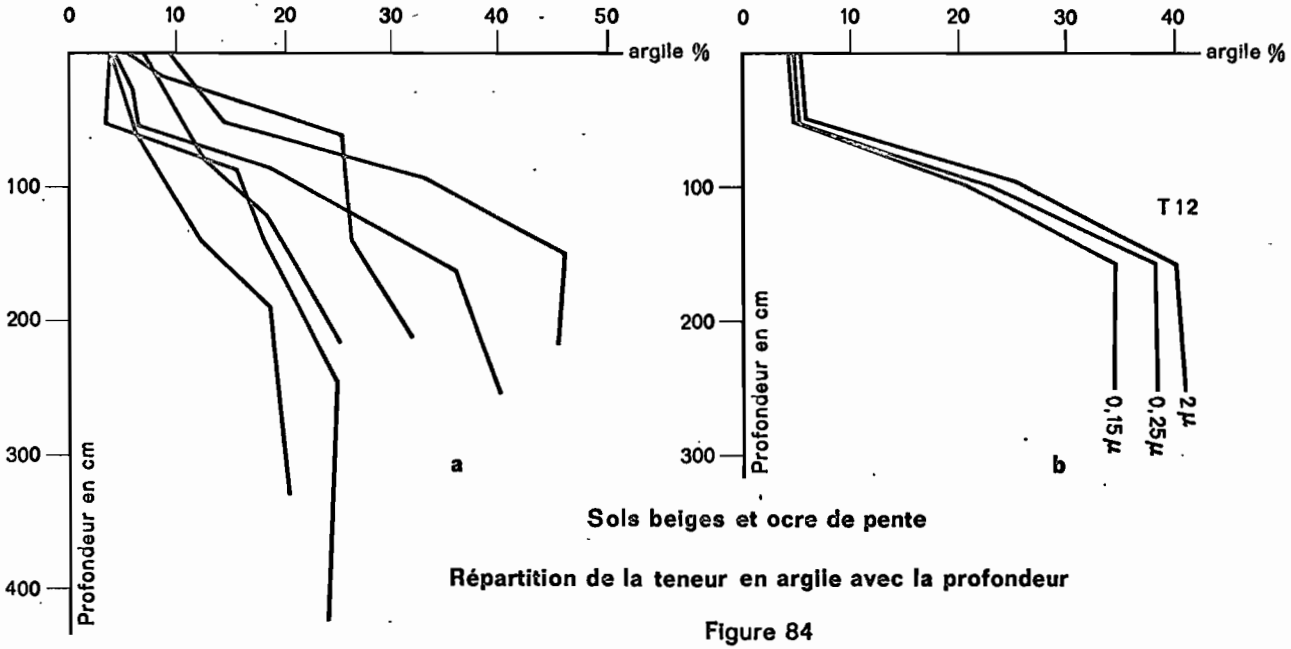
Voici les caractères que l'on peut rattacher à chacun de ces types :

Diagrammes de rayons x de sols rouges (T21-T353) et sol ocre (T361) (spectre de poudre de la fraction colloïdale < à 2μ)

Figure 83



Sols des formations anciennes remaniées



Sols beiges et ocre de pente

Répartition de la teneur en argile avec la profondeur

Figure 84

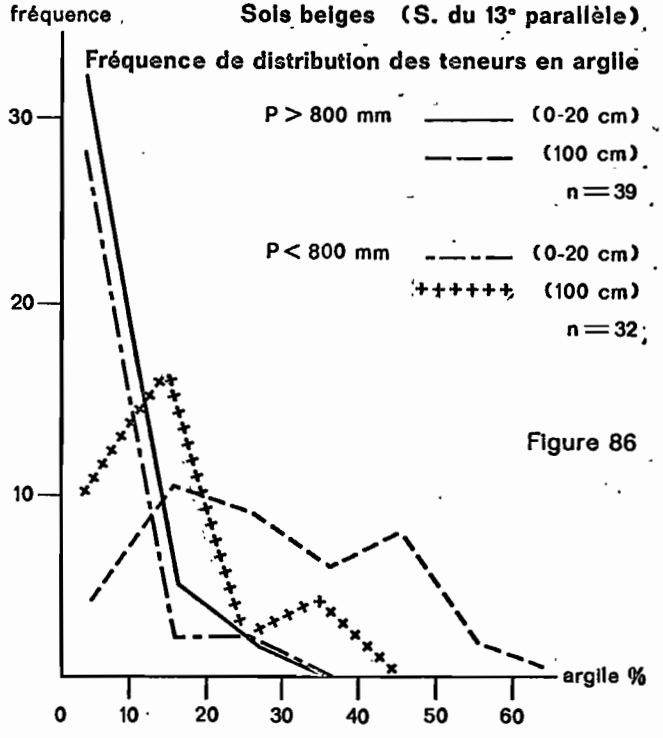
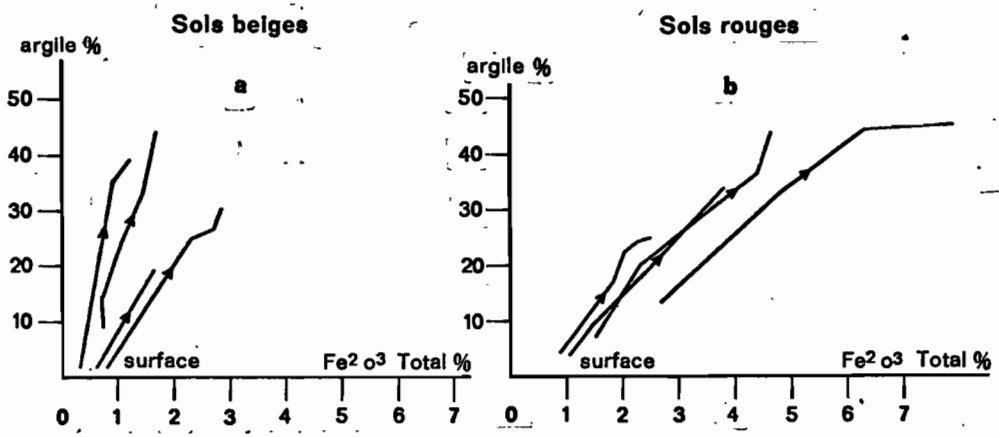


Figure 86

Répartition des teneurs en fer en fonction des pourcentages d'argile et de la profondeur



Migration du fer des sols rouges des plateaux (T 2-T 35) vers les dépressions voisines (T 13-T 34) Sols beige et ocre de pente (T 12-T 36)

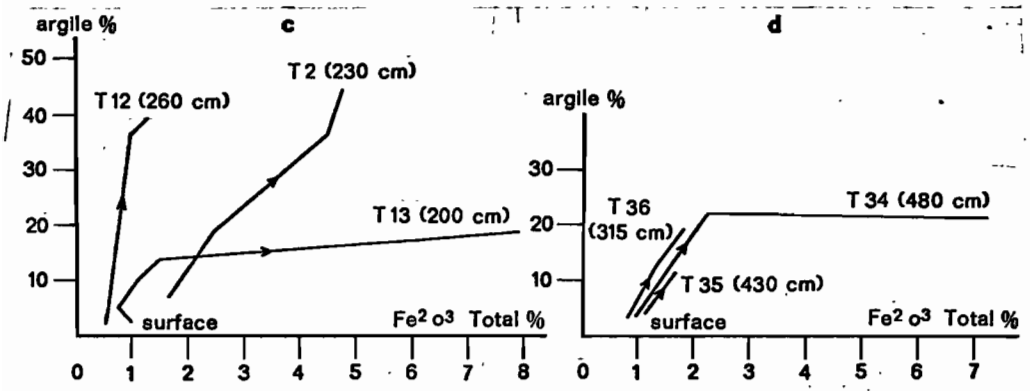


Figure 85

Sols beiges (S. du 13e parallèle)

Répartition des teneurs en argile avec la profondeur

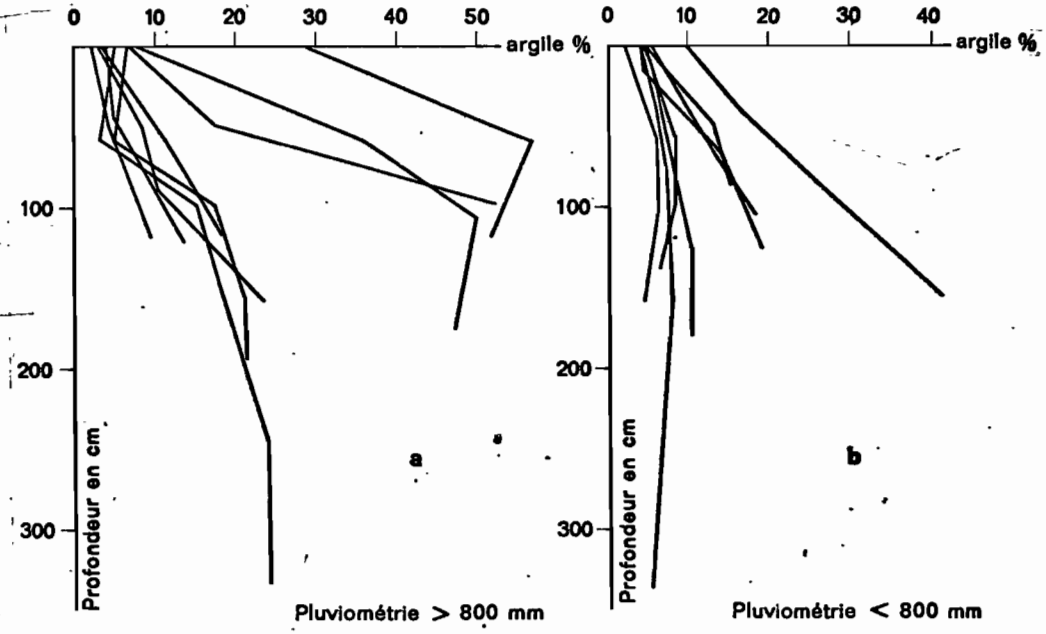


Figure 87

Sols beiges (S. du 13e parallèle)

Fréquence de distribution de l'indice de lessivage

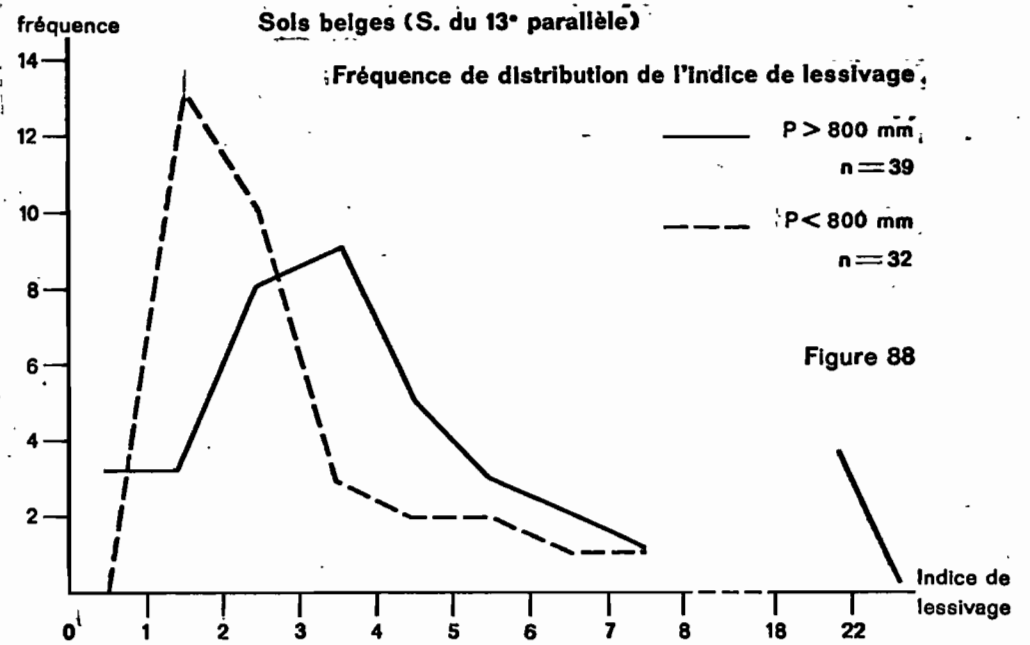


Figure 88

La surface ancienne que constituent les sols ferrallitiques de ces régions tend donc à disparaître progressivement, rognée sur ses flancs, au profit d'une seconde, essentiellement constituée par des sols ferrugineux lessivés associés à des sols hydromorphes de bas de pente. C'est ce que l'on voit mieux encore au nord du 9è parallèle où les sols rouges n'existent plus qu'en buttes témoins d'étendue restreinte au milieu de sols clairs lessivés.

2.2. SOLS DERIVANT DES FORMATIONS ANCIENNES PALEOZOIQUES ... CONTINENTALES TERMINALES APRES TRANSPORT ET REDEPOT

Il existe deux ensembles qui tirent leur origine de régions différentes. Un premier localisé au sud du 13è parallèle et qui dérive principalement des formations continentales terminales de l'arrière-pays, régions de Moundou-Koumra, Fort-Archambault, Kyabé et du pourtour du massif central tchadien. Un second localisé au nord de ce parallèle et dont les sédiments proviennent de l'Est et du Nord, des formations gréseuses paléozoïques ou continentales terminales (Ouaddaï, Ennedi, Tibesti).

2.2.1. Les sols au sud du 13 è parallèle

Ils sont de plusieurs types, parmi lesquels il convient de distinguer des sols de couleur claire, généralement beige.

- à rares taches ferrugineuses
- à taches et concrétions ferrugineuses
- à cuirasse ferrugineuse.

2.2.1.1. Morphologie

Profil T 47 : sol beige à rares taches ferrugineuses

Localisation : Yagoua. 10°20 de latitude nord - 15°14 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 900 mm

Topographie : surface de très faible pente constituant une ride importante surplombant la dépression du Logone d'une vingtaine de mètres

Erosion pluviale faible à nulle

Erosion éolienne visible dans les parties laissées à nu après culture d'arachide

Bon drainage

Végétation : jachère à Anona senegalensis, Guiera senegalensis, Terminalia avicennioides, Detarium senegalense. Tapis graminéen d'Aristidées.

0 - 22 cm : gris-brun (10 YR 5,5/3), sableux, humifère, fondu, compacité et cohésion faibles. Fort enracinement.
22-42 cm : transition, beige (10YR 6/4), racines moins nombreuses.
42 - 330 cm : beige jaunâtre (7,5 YR 6,5/6) passant à beige ocré (10 YR 6/8) (10 YR 7/6), sableux, fondu, peu compact, cohésion faible, quelques racines. Deux fines raies de quelques millimètres d'épaisseur s'observent vers 75 et 95 cm; elles sont brunâtres et de texture plus argileuse.
330 - 380 cm : beige-jaune (10 YR 7,5/6) identique à l'horizon précédent.

Profil T 34 : sol beige à taches et concrétions ferrugineuses.

Localisation : 15 km au nord-ouest de Gounou Gaya. 9°40 de latitude nord - 15°25 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 1000 mm.

Topographie : surface apparemment plane.

Erosion : non visible.

Bon drainage superficiel.

Végétation : jachère située à proximité du village de Gounou Gaskala. Quelques arbres : Butyrospermum parkii, Ficus platyphylla, ... Anona senegalensis, Calotropis procera. Tapis herbacé de Cyperus iria, Eragrostis tremula, Crozophora sp., Imperata cylindra par places.

0 - 25 cm : gris-brun (10 YR 5/2), sableux, humifère, fondu, cohésion et compacité faibles. Bon enracinement.
25 - 80 cm : gris-beige (10 YR 5,5/3), puis beige à partir de 40 cm (10 YR 6/4), identique au précédent.
80 - 130 cm : beige (10 YR 6/4) à taches jaunâtres (5 YR 6/6), sableux à sablo-argileux, tendance polyédrique fine à moyenne. Cohésion et compacité moyennes.
130 - 250 cm : beige (10 YR 6,5/4) à taches nombreuses jaunâtres et rouille (5 YR 6/8 - 2,5 YR 5/8) et concrétions noires plus ou moins consolidées entre 130 et 150 cm, sablo-argileux, polyédrique moyen, cohésion et compacité moyennes.
250 - 350 cm : beige très clair (10 YR 7,5/2) à taches ocre (7,5 YR 6/6 - 10 YR 7/8), identique au précédent mais plus compact.
350 - 480 cm : ocre clair (10 YR 7,5/6) à multiples petites taches diffuses de coloration similaire à celle des horizons précédents et concrétions ferrugineuses rouille assez nombreuses et peu consolidées dans la partie inférieure.

Nappe phréatique à 4,80 m.

Profil T 11 : sol beige à cuirasse ferrugineuse.

Localisation : près de Boum Kabir. 10°13 de latitude nord - 19°23 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 950 mm.

Topographie : surface apparemment plane.

Erosion : non visible.

Bon drainage superficiel.

Végétation : jachère de 4 ans : Butyrospermum parkii, Khaya senegalensis, Detarium sp., Sclerocarya birrea, Bauhinia reticulata, Combretum glutinosum, Guiera senegalensis, Grewia mollis, Asparagus africana ... Tapis graminéen de hautes Andropogonées.

0 - 35 cm : gris-brun (10 YR 5/2), sableux, humifère, fondu à tendance nuciforme, cohésion faible, peu compact. Porosité tubulaire et légèrement d'agrégats.

35 - 80 cm : gris-beige à beige (10 YR 6,5/3), identique au précédent, fondu à tendance polyédrique.

80 - 115 cm : beige (10 YR 6,5/4) avec quelques taches jaunâtres (5 YR 6/8), sableux à sablo-argileux, fondu à tendance polyédrique plus marquée, cohésion moyenne assez compacte, quelques excavations de 4 à 5 mm de diamètre (terriers).

115 - 160 cm : beige (10 YR 7/4) à nombreuses taches jaunâtres, sablo-argileux, polyédrique fin à moyen. Assez compact, cohésion moyenne à forte.

160 - 200 cm : abondantes concrétions ferrugineuses de formes diverses plus ou moins arrondies, brun-rouille (5 YR 4/4) ou jaunâtres (5 YR 6/8) se détachant sur un fond beige rosé (7,5 YR 6,5/4) à blanc rosé (7,5 YR 8/4). L'ensemble est vacuolaire, non franchement consolidé.

Dans le puits du village voisin, la cuirasse se poursuit sur 3,5 m à 4 m et passe ensuite à un niveau versicolore lui-même cuirassé sur 2 m, auquel succède une arène très altérée.

2.2.1.2. Caractères analytiques des profils T 11 - T 34 - T 47

Tableaux VII, VIII et IX

2.2.1.3. Caractères analytiques généraux

Les deux derniers profils donnés précédemment (T 34 et T 11) présentent des caractères morphologiques voisins de ceux décrits au paragraphe 2.1.4. que nous rappelons brièvement.

- Horizons : A_1 humifère

A_2 beige lessivé

B_1 beige plus argileux

B_2 beige plus argileux et à accumulation ferrugineuse (taches et concrétions)

B_3 identique à B_2, mais à nombreuses concrétions pouvant donner une cuirasse dans certains cas (profil T 11)

C peu discernable, continuation du B_3 avec des caractères d'hydromorphie souvent très développée.

Les sols que représente le profil T 47 ont des horizons moins bien différenciés. On y distingue cependant :

- Horizons : A_1 légèrement enrichi en matière organique, de couleur grisâtre, sableux, très faiblement structuré

A_2 plus clair, brun-ocre à beige, sableux, faiblement structuré, épais de 25 cm environ

(B) de couleur légèrement plus foncée (beige-ocre, rougeâtre) due à une accumulation diffuse du fer, peu structuré, sableux

C Vers 1,50 m, 2 m, parfois plus, sable jaune à beige. Cet horizon présente parfois des caractères d'hydromorphie par suite d'action de nappe temporaire ou permanente ou de niveau d'engorgement, s'il y a passage à un matériau sous-jacent plus argileux.

L'horizon de surface de ces différents sols est sableux : généralement, il y a de 0 à 10% d'argile. En profondeur, vers 1 à 2 m, les taux d'argile sont rarement supérieurs à 20% pour des pluviométries inférieures à 800 mm (1er delta fossile du Chari), très variables pour des pluviométries supérieures (figure 86).

L'augmentation du taux d'argile est croissante avec la profondeur, puis celui-ci tend à devenir relativement constant. Il ne paraît pas y avoir de lessivage vertical de l'argile; aucun "ventre" d'accumulation n'est observé, sauf pour les sols très sableux où se notent d'ailleurs souvent de fines raies d'accumulation argileuse. L'entraînement oblique de l'argile qui sort ainsi du profil est plus vraisemblable. Ceci explique qu'un matériau initialement argileux puisse présenter des horizons A_1, A_2, B_1 relativement très sableux (figure 87).

L'indice de lessivage pour des pluviométries inférieures à 800 mm est compris entre 1 et 3, tandis qu'il est beaucoup plus étalé sur l'axe des abscisses pour des pluviométries supérieures avec un maximum de répartition entre 3 et 4 (figure 88).

La coloration de ces sols est dans la gamme des 10 YR gris-brun (4/3, 5/2, 5/3), brun pâle (6/3) en surface, beige (6/4), jaunâtre (6/6, 7,5 YR 6/8, 5/8), rougeâtre (5 YR 6/6) en profondeur où s'observent, le plus souvent, des taches plus colorées d'hydroxydes.

Les horizons supérieurs ont une structure fondue ou nuciforme peu développée, tandis que les horizons profonds sont polyédriques fins à moyens, sauf dans les types sableux peu structurés. La cohésion et la compacité augmentent avec la profondeur où certains horizons sont massifs.

L'instabilité structurale croît aussi avec la profondeur. Ces sols ont, en surface, une structure moyenne à très mauvaise (IS compris entre 0,7 et 2 et au-dessus). En profondeur, celle-ci est mauvaise à très mauvaise.

La perméabilité de ces sols est faible, très faible en surface, un peu plus élevée en profondeur où une partie des échantillons a des vitesses de perméabilité comprises entre 1,5 et 8 cm/h.

La porosité assez élevée dans les horizons de surface, est faible dans les horizons profonds les plus argileux. Quelques porosités mesurées sur lames minces donnent des pourcentages modestes (échantillons T 345 (250 cm) 8% - T 114 (140-160 cm) 11%). Il s'agit ici d'une porosité tubulaire que développe le système radiculaire ou des animaux fouisseurs.

Les teneurs en carbone dans l'horizon de surface sont comprises entre 0 et 1%. Pour des pluviométries supérieures à 800 mm, la répartition maximum s'effectue entre 0,25 et 0,50%; elle est située entre 0 et 0,25% pour des pluviométries inférieures (figure 89). Les rapports C/N sont assez variables, fréquemment entre 11 et 12 ($P < 800$ mm), entre 11 et 15 ($P > 800$ mm).

Les teneurs en matière humique en surface sont comprises entre 0,65 et 1,48%, tandis que les taux d'humification sont de l'ordre de 20 à 45%. S'il y a plus d'acides humiques en surface, on note une augmentation très rapide des acides fulviques en profondeur, et ceux-ci dominent alors, mais d'une façon moins marquée que dans les sols rouges.

Les pH des horizons de surface se situent entre 5 et 7, principalement entre 5 et 6 pour les sols à cuirasse et les sols atteints d'hydromorphie, quelle que soit la pluviométrie. Par contre, en profondeur, ils sont surtout compris entre 4 et 7 pour une pluviométrie inférieure à 800 mm, entre 4 et 6 pour des pluviométries supérieures. Souvent les pH baissent avec la profondeur jusqu'à 100 cm environ, puis se relèvent ensuite pour tendre vers la neutralité dans les horizons les plus profonds.(figure 90)

Certains horizons ont un pH relativement élevé, ils le doivent à du sodium fixé sur le complexe absorbant ou sous forme soluble (sulfate et carbonate). Ces quantités de sodium ne sont pas forcément très importantes.

La courbe de répartition de la somme des cations échangeables pour des pluviométries inférieures à 800 mm est gaussienne et présente un maximum entre 2 et 3 me %, tant pour les horizons de surface que de profondeur. Pour des pluviométries supérieures, S est le plus souvent compris entre 1 et 4 me %. (figure 91).

Les ions Ca et Mg sont en codominance. Il n'est pas rare pour des pluviométries supérieures à 800 mm de voir Mg l'emporter. Ils représentent à eux deux 80 à 90% de la somme des cations.

Les taux de Ca sont, le plus souvent, compris entre 1 et 2 me % ($P < 800$ mm) et entre 0 et 2 me % ($P > 800$ mm). On note parfois des chiffres beaucoup plus élevés en profondeur.

Les taux de Mg ont une répartition maximum entre 0,2 et 1 me %, quelle que soit la pluviométrie sauf en profondeur où, pour des pluviométries supérieures à 800 mm, les taux de Mg sont plus généralement compris entre 0 et 2 me %.

L'ion K a des valeurs situées entre 0,1 et 0,2 me % ($P < 800$ mm) et entre 0 et 0,1 me % ($P > 800$ mm) pour les horizons de surface. En profondeur, on note un léger accroissement et la répartition maximum se place entre 0,1 et 0,5 me % ($P < 800$ mm) et entre 0 et 0,5 me % ($P > 800$ mm).

L'ion Na a également des valeurs faibles, comprises pour les horizons de surface entre 0,1 et 0,2 me % ($P < 800$ mm) et entre 0 et 0,1 me % ($P > 800$ mm). En profondeur, on assiste à un relèvement des taux de Na plus important pour des pluviométries inférieures à 800 mm (Na compris entre 0,1 et 0,5 me %, mais aussi des quantités plus importantes de 1,5 à 5 me %) que pour des pluviométries supérieures (Na compris entre 0 et 0,2 me %). Fig.92

Le complexe absorbant de ces sols est diversement saturé. Les valeurs de l'indice V s'étalent sur l'axe des abscisses. On note cependant un déplacement vers la droite de ces valeurs lorsque l'on passe des pluviométries supérieures à 800 mm à des pluviométries inférieures. Les horizons de surface apparaissent plus saturés (40 à 60% pour $P > 800$ mm, 60 à 80% pour $P < 800$ mm). Figure 93.

Les rapports SiO_2/Al_2O_3 sont supérieurs à 2, quelle que soit la pluviométrie. Ils sont exceptionnellement inférieurs à ce chiffre dans la fraction grossière de l'horizon T 115 constituée de concrétions d'hydroxydes.

Il y a généralement augmentation des taux de fer total avec le pourcentage d'argile et la profondeur. L'augmentation est relativement faible pour des sols à taches rares ou absentes (profil T 47 - Ma 70), très importante pour les sols à taches et concrétions (profil T 34) ou à cuirasse (profil T 11). Figure 94.

La fraction argileuse peut être très variée. Dans les bassins du Moyen Chari (Miltou - Bousso), du Moyen Logone (Bongor - Gounou Gaya), il y a prédominance de kaolinite (65 à 75%); l'illite est en plus faible quantité (5 à 15%); la goethite est variable, peu abondante (1 à 8%). Sur le pourtour du massif central tchadien, la kaolinite est seule, accompagnée d'un peu de goethite. Dans le 1er delta fossile du Chari, il y a codominance de montmorillonite (40 à 45%) et de kaolinite (40%), tandis que l'illite est en plus faible quantité (5 à 10%).

Parmi les éléments traces (tableau 51 en annexe), certains sols ont des valeurs identiques à celles des sols rouges. Les échantillons du profil T 11 prélevés au voisinage du massif central tchadien sont ceux qui s'y apparentent le mieux (Ni, Ba, Cu, Zn ...), tandis que les échantillons des profils T 34 - T 47 présentent des similitudes avec ceux du profil T 35 (sol rouge sableux). Le manganèse, d'une façon générale, est en quantité moindre.

On note parfois aussi une tendance à de légères accumulations en profondeur dans les profils pour certains éléments (V, Cu, Ni, Cr).

Les sols que nous venons d'étudier ont les caractéristiques principales des sols ferrugineux tropicaux.

- Lessivés à taches et concrétions ferrugineuses ou cuirasses, situés entre les isohyètes 1200 à 800 mm.

Ils présentent :

. un profil de type ABC avec un A_2 lessivé et un B textural décomposé en B_1 (plus argileux) B_2 B_3 plus argileux et à accumulation ferrugineuse.

. une coloration dans la gamme de 10 YR grise en surface, beige, beige jaunâtre ou rougeâtre en profondeur avec des taches plus foncées.

. des teneurs assez élevées en argile en profondeur par rapport à celles de l'horizon de surface. L'indice de lessivage varie entre 3 et 6. On n'observe pas cependant de "ventre d'accumulation" d'argile et le lessivage apparaît comme de type oblique.

. des teneurs en fer total qui croissent en profondeur avec le taux d'argile donnant des accumulations sous forme de concrétions ou de cuirasse.

. une structure médiocre à mauvaise de la surface vers la profondeur et une perméabilité faible.

. des teneurs en carbone (horizons de surface) faibles (0,25 à 0,50%).

. des rapports C/N moyennement élevés (11 à 15).

. des pH compris entre 5 et 7 en surface, entre 4 et 6 vers 100 cm. Ils tendent souvent à se relever à plus grande profondeur.

. une valeur de S comprise entre 1 et 4 me % où Ca et Mg prédominent, tandis que K et Na sont faibles, avec un léger accroissement en profondeur.

. des taux de saturation compris entre 40 et 60% en surface, 30 et 60% en profondeur.

. une fraction argileuse à prédominance de kaolinite avec de faibles quantités d'illite et de goethite.

. des rapports Si O_2/Al_2O_3 supérieurs à 2.

Ces sols peuvent présenter des traces d'hydromorphie remontant parfois assez haut dans l'horizon B_1 ou la base de A_2 qui en feraient alors des sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley.

Ces phénomènes sont très fréquents dans les sols à cuirasses et indiquent d'importants engorgements en saison des pluies. Signalons comme une rareté des horizons profonds enrichis en sodium échangeable.

- Peu lessivés à taches rares ou absentes, situés entre les isohyètes 800 et 500 mm.

Ils présentent un profil de type ABC avec un B structural plus ou moins bien développé ou textural peu marqué à très légère accumulation ferrugineuse. Ils se développent généralement sur une roche-mère plus uniformément sableuse.

Ils ressemblent aux précédents par certains caractères de coloration, d'instabilité structurale, rapport Si O_2/Al_2O3 supérieur à 2 ... mais en diffèrent par :

. un indice de lessivage plus faible compris entre 1 et 3. Si certains profils ne présentent pas de "ventre d'accumulation" et témoignent, comme les précédents, d'un lessivage oblique, d'autres, les plus sableux, le possèdent. On y observe alors aussi de fines raies d'accumulation argileuse.

. des teneurs en carbone plus faibles (0 à 0,25%), des rapports C/N plus bas variant entre 11 et 12.

. des pH assez analogues en surface mais légèrement plus élevés en profondeur (5 à 7). On note également des pH compris entre 7 et 9 dans des horizons où commencent à se produire des phénomènes d'halomorphie.

. des valeurs de S comprises entre 2 et 3 me % et des taux de saturation plus forts (60 à 80% en surface, 40 à 70% en profondeur).

. des taux de Na plus élevés dans les horizons profonds, tandis que les taux de K sont légèrement plus forts, notamment en surface et que ceux de Ca et Mg sont assez voisins.

. des variations de teneurs en fer avec la profondeur, assez faibles.

. une fraction argileuse qui peut être identique à la précédente (kaolinite dominante, illite et goethite), mais aussi montmorillonite et kaolinite en codominance avec des traces d'illite.

Ces sols peuvent présenter des traces d'hydromorphie plus ou moins marquées dans leurs horizons profonds, ou des phénomènes d'halomorphie. Il s'agit alors de Na fixé sur le complexe absorbant et de faibles traces de sels solubles (sulfate, carbonate), qui ont pour effet un relèvement du pH, une saturation très élevée du complexe (80 à 100 %).

Certains de ces sols présentent une cuirasse en profondeur. Il s'agit alors de dépôts de la série ancienne venue recouvrir la vieille surface cuirassée "continentale terminale" primitivement arasée. L'apparence de sol ferrugineux lessivé à cuirasse est totale. Ils présentent aussi en profondeur, au contact de la cuirasse, des caractères d'hydromorphie assez accusés.

On retiendra principalement des sols formés sur cette série sédimentaire, après son transport et son redépôt en milieu terrestre ou lacustre :

- que ceux du pourtour du massif central tchadien, des bassins des Moyen Chari et Logone, ont une fraction argileuse à dominance de kaolinite, très peu d'illite et sont relativement assez argileux. Ils ont donc conservé les caractères hérités des formations continentales terminales dont ils dérivent directement. Ils sont à rapprocher de ceux que nous avons décrits précédemment, en contact avec les sols rouges, dans des positions topographiques particulières (sols de pente);

- que les sols des régions du Bahr Erguig - Batha de Laïri (1er delta du Chari) dont les sédiments ont été mis en place en milieu lacustre sont très sableux, la fraction colloïdale ayant pratiquement disparu en cours de transport, tandis que l'argile actuelle est un mélange de kaolinite et de montmorillonite;

- que les sols présentant des niveaux cuirassés en profondeur peuvent souvent (1) être assimilés dans ces régions à des sols polygéniques, la cuirasse représentant une formation ancienne arasée de son sol et recouverte postérieurement par des sédiments ayant donné des types ferrugineux à taches et concrétions où l'hydromorphie est un facteur essentiel de l'évolution des horizons profonds;

- que les phénomènes d'halomorphie pratiquement absents dans les sols des séries précédentes, commencent ici à se développer et de plus en plus intensément au fur et à mesure que les conditions d'aridité s'accentuent.

2.2.2. Les sols au nord du 13 ème parallèle

Les sols formés sur la série sédimentaire sableuse au nord de ce parallèle sont d'une relative homogénéité. Ils s'intègrent dans un paysage mamelonné fait d'une succession de dunes et d'interdunes. Ces dernières sont occupées soit par des dépôts lacustres plus ou moins anciens, soit par les sables de cette même série. Dans ce dernier cas, on distingue très schématiquement, en position haute (sommet de dune) des sols de couleur brun-rouge, tandis que les interdunes sont occupées par des sols bruns.

---

(1) Pas tous cependant, puisqu'en bas des pentes, en milieu souvent hydromorphe, se développent des cuirasses actuelles.

2.2.2.1. Morphologie

Profil T 1 : sol brun-rouge

Localisation : Ifénat nord d'Ati. 13°40 de latitude nord - 18°35 longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 300 à 350 mm.

Topographie : zone plane dans un ensemble dunaire.

Erosion : faible à nulle.

Bon drainage.

Végétation : pseudo-steppe à Aristidées dominantes : Aristida stipoides, Aristida mutabilis, Cenchrus biflorus, Schoenefeldia gracilis ... Chrozophora senegalensis, Blepharis linaraefolia ... Quelques arbres : Maerua crassifolia, Acacia raddiana.

0 - 1 cm : gris-noir (10 YR 5/1), sableux, lamellaire, apparemment stratifié, compacité moyenne, faible cohésion.
1 - 25 cm : gris-brun (10 YR 5/3), sableux, fondu à débit anguleux, légèrement nuciforme, compacité et cohésion faibles. Porosité d'agrégats très moyennement développée.
25 - 55 cm : transition gris-brun clair (10 YR 5,5/4) identique.
55 - 135 cm : brun-rouge pâle (7,5 YR 6/6), sableux, polyédrique moyen à fin, compacité plus forte, cohésion encore faible. Porosité d'agrégats et aussi tubulaire par nombreux passages de racines, nombreuses lignes rouille d'accumulation ferrugineuse et argileuse (2,5 YR 4/8) plus ou moins sinueuses et très fines.
135 - 180 cm : beige (7,5 YR 7,5/6) sableux, polyédrique moyen, assez forte compacité, cohésion moyenne, quelques taches et lignes rouille.
180 - 220 cm : blanc (2,5 Y 8/2) sableux, présence de nombreux feldspaths blancs, compacité assez forte, cohésion faible à moyenne, lignes rouille existantes et plus épaisses.
220 - 270 cm : identique, mais matériau plus grossier.

Profil Bol 6 : sol brun

Localisation : Bol (bordure nord du Lac Tchad). 13°27 de latitude nord - 14°23 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 300 mm environ.

Topographie : légère pente, en interdune.

Erosion éolienne faible.

Bon drainage.

Végétation de pseudo-steppe : Aristida stipoides, Cenchrus biflorus, Hyparrhenia rufa ... Chrozophora senegalensis, Borreria radiata, Blepharis linaraefolia.

0 - 20 cm : gris-brun (10 YR 5/3), sableux, fondu, cohésion et compacité faibles, bon enracinement par fin chevelu.

20 - 75 cm : brun-clair (10 YR 6/4) passant vers 45 cm à brun-jaune (10 YR 7/6) sensiblement identique, à cohésion légèrement plus forte, enracinement encore abondant.

75 - 180 cm : blanc jaunâtre (10 YR 8/6), identique mais très peu cohérent.

2.2.2.2. Caractères analytiques des profils T 1 et Bol 6

Tableaux X et XI

2.2.2.3. Caractères analytiques généraux

Les descriptions morphologiques précédentes nous montrent deux types de profil.

Sol brun :

- horizon A sableux à structure fondue, épais de 80 à 100 cm, caractérisé par une pénétration homogène et profonde de la matière organique, de couleur brune assez foncée qui se maintient en s'éclaircissant un peu;
- horizon C, la roche mère de couleur généralement claire, blanche ou beige, sableux, particulaire.

Sol brun-rouge à horizon humifère moins épais. En profondeur, l'absence ou la rareté de la matière organique permet l'apparition d'une coloration ocre, brun-rouge, due à l'individualisation des oxydes de fer. L'épaisseur du profil est plus grande et peut atteindre 2 m. On distingue :

- horizon A, sableux à structure fondue de tendance nuciforme, gris-brun, gris-brun clair, épais de 25 à 50 cm;
- horizon (B) sableux, structure à tendance polyédrique, brun-rouge pouvant atteindre 100 cm;
- horizon C, la roche mère beige ou blanche, sableux, particulaire.

Ce sont les sols brun-rouge que l'on observe le plus souvent. L'épaisseur de l'horizon A est variable, fonction de la position topographique du profil prélevé. Elle est faible (30 à 50 cm) dans les parties mamelonnées, plus grande (60 à 80 cm, parfois plus) dans les zones planes ou les dépressions intermamelons.

La présence de l'horizon (B) est constante, mais sa coloration peut être masquée par la grande pénétration de la matière organique dans des positions topographiques basses (interdunes) ou très éclaircie sur les pentes des dunes.

Ces sols sont uniformément sableux, à quelques exceptions près, et contiennent rarement plus de 10% d'argile dans l'horizon le plus argileux. Ils sont plus sableux en surface qu'en profondeur et un léger "ventre d'accumulation" apparait entre 60 et 120 cm en même temps que se perçoivent parfois des lignes d'accumulation argileuse et ferrugineuse (figures 95 et 96a.)

L'indice de lessivage est le plus souvent compris entre 1 et 3. L'horizon supérieur est parfois le plus argileux (indice de lessivage compris entre 0 et 1); ceci se voit surtout dans des sols bruns qui occupent des interdunes. Dos indices de lessivage plus élevés s'observent et sont à mettre au compte d'une topographie souvent accusée qui favorise, ou a favorisé anciennement, des lessivages obliques importants dans ces sols sableux (figure 96 b).

Ces sols ont une structure fondue à tendance nuciforme ou polyédrique dans les horizons les plus argileux. La compacité et la cohésion sont souvent faibles.

La mesure d'instabilité structurale nous indique que celle-ci croît avec la profondeur. Elle est généralement moyenne (0,7 à 1) à bonne (0,4 à 0,7) en surface, moyenne à mauvaise en profondeur (1 à 2).

Les perméabilités effectuées en laboratoire qui donnent le comportement du sol à l'état humide sont le plus souvent très mauvaises (Kcm/h $< 1,5$). Elles démontrent que la fraction argileuse est assez mal agrégée et dispersée après plusieurs pluies. Des perméabilités effectuées sur le terrain en saison sèche par la méthode de Muntz donnent à l'inverse des chiffres très élevés (75 à 300 cm/h). Ceci tient à ce que la méthode de laboratoire facilite une dispersion de l'argile en milieu saturé en eau. C'est ce qui se passera au plus fort de la saison des pluies. La méthode de terrain à l'inverse n'apporte pas d'eau en quantité suffisamment importante pour permettre la dispersion des colloïdes. L'eau filtre à travers les agrégats. Cette méthode reflète la perméabilité du début de la saison des pluies.

La porosité de ces sols est celle de sables peu agrégés. Dans les horizons les plus argileux où se dessine une structure polyédrique, cette porosité sur lame mince atteint 30 à 40%. Le système radiculaire est bien développé et descend jusqu'à 40 - 60 cm.

Les taux de carbone, s'ils se répartissent d'une façon relativement homogène, sont très faibles. En surface, les valeurs les plus fréquentes se situent entre 0 et 0,2%, tandis que les rapports C/N sont compris le plus souvent entre 8 et 10, indiquant une matière organique mieux minéralisée que dans les types de sols donnés précédemment (figure 97).

Les teneurs en matière humique totale en surface varient entre 0,20 et 0,78% dans les exemples retenus pour des taux d'humification allant de 7 à 30%.

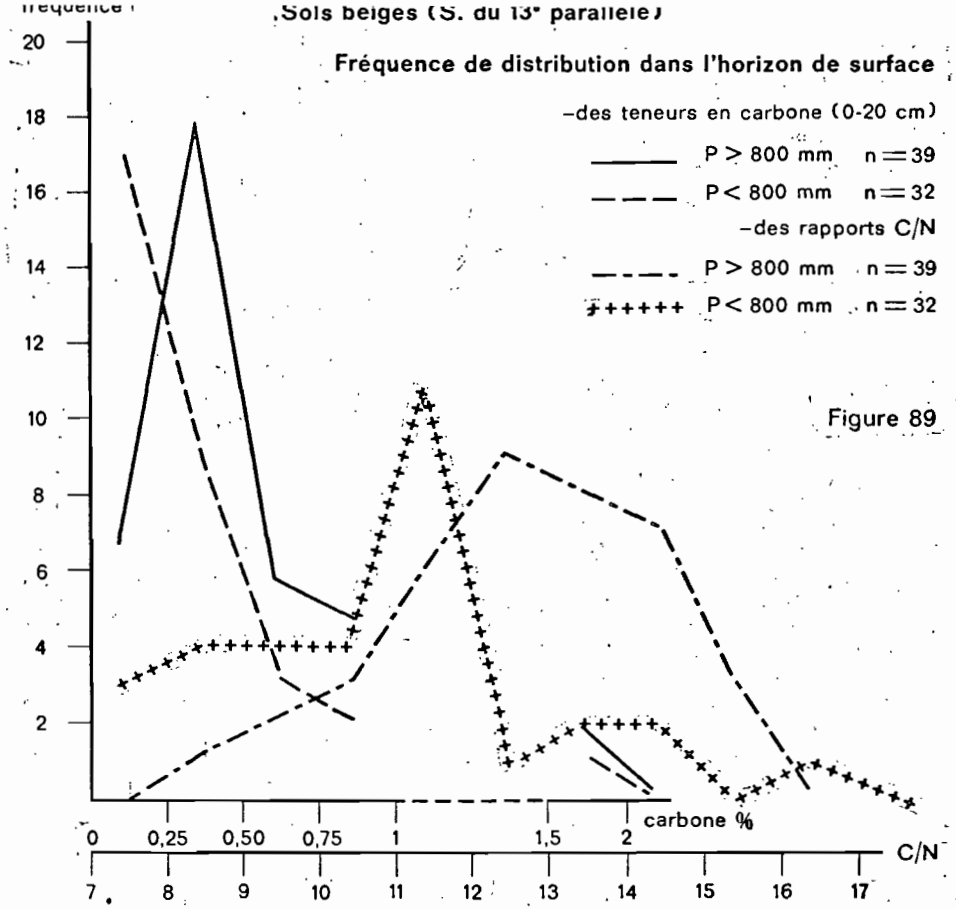


Figure 89

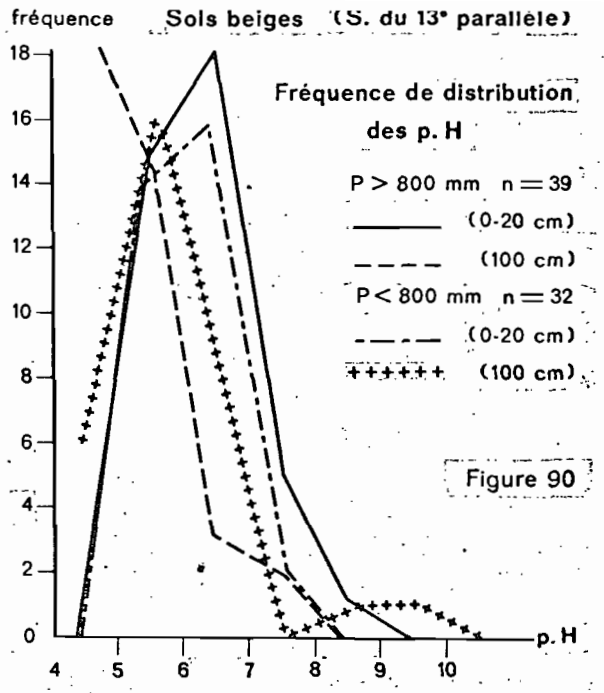


Figure 90

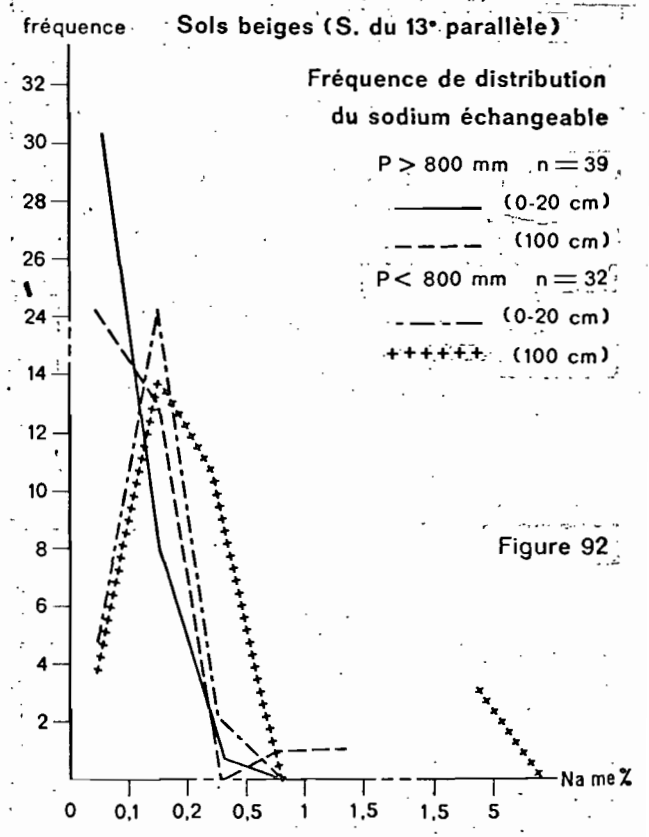


Figure 92

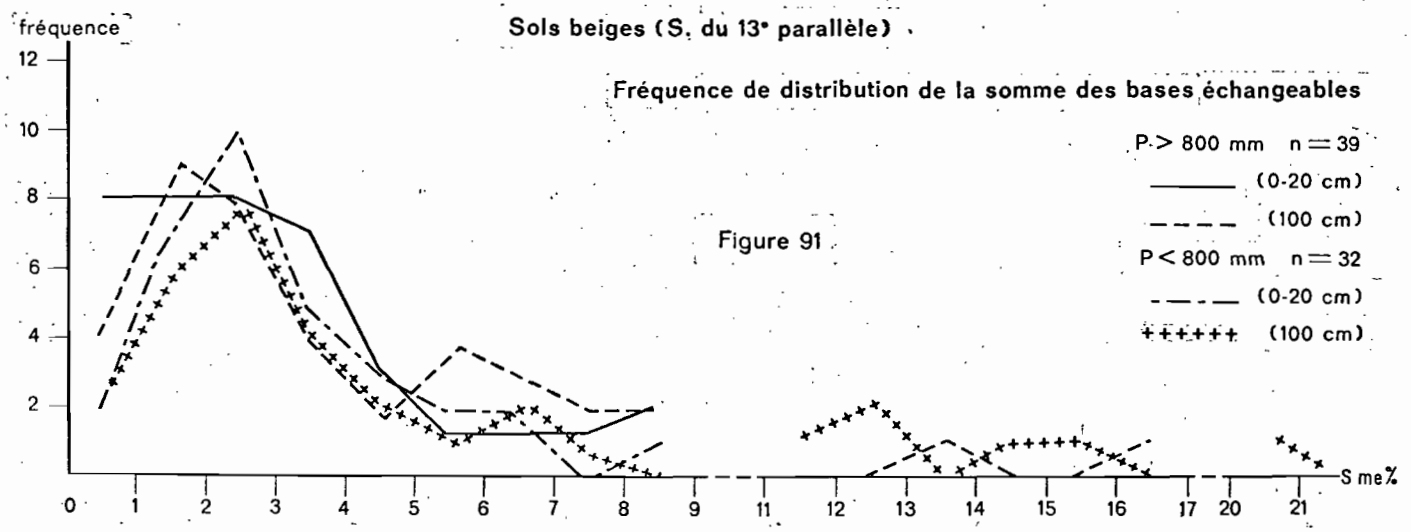


Figure 91

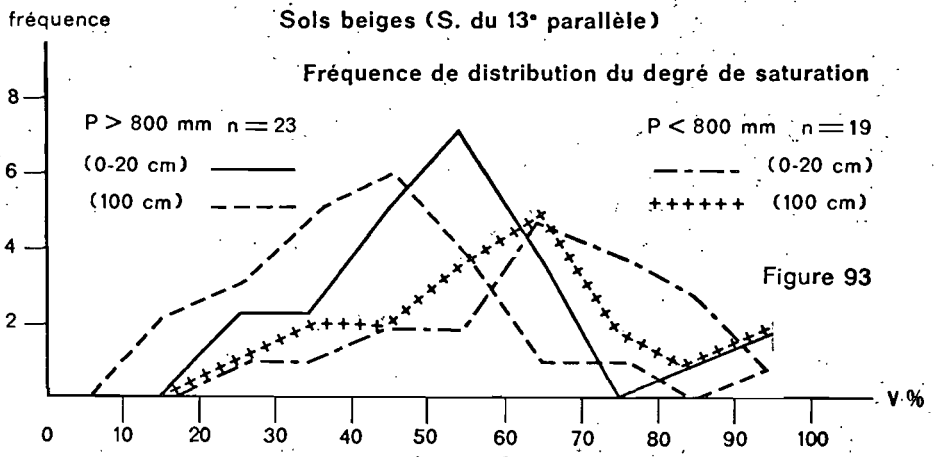


Figure 93

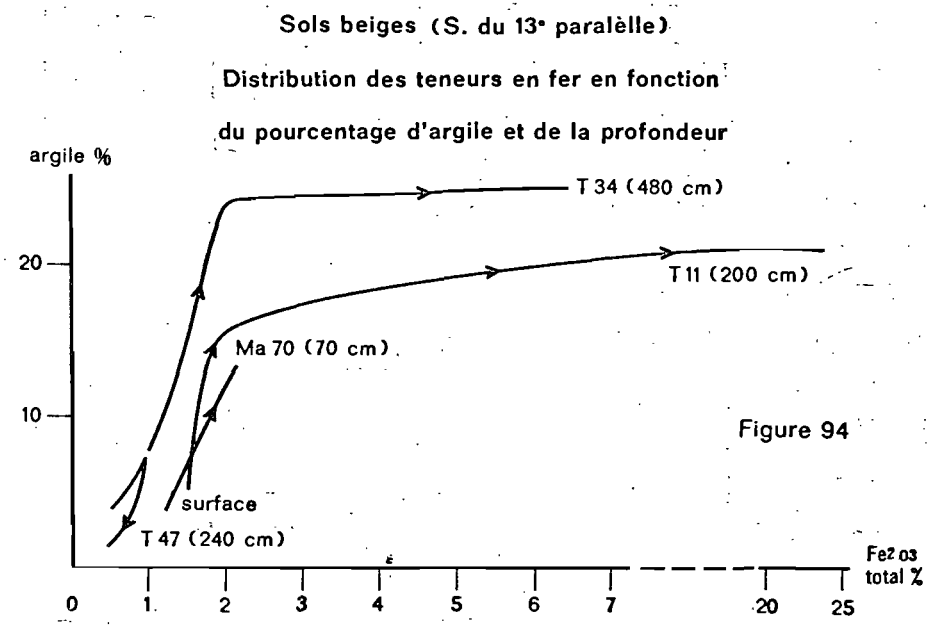


Figure 94

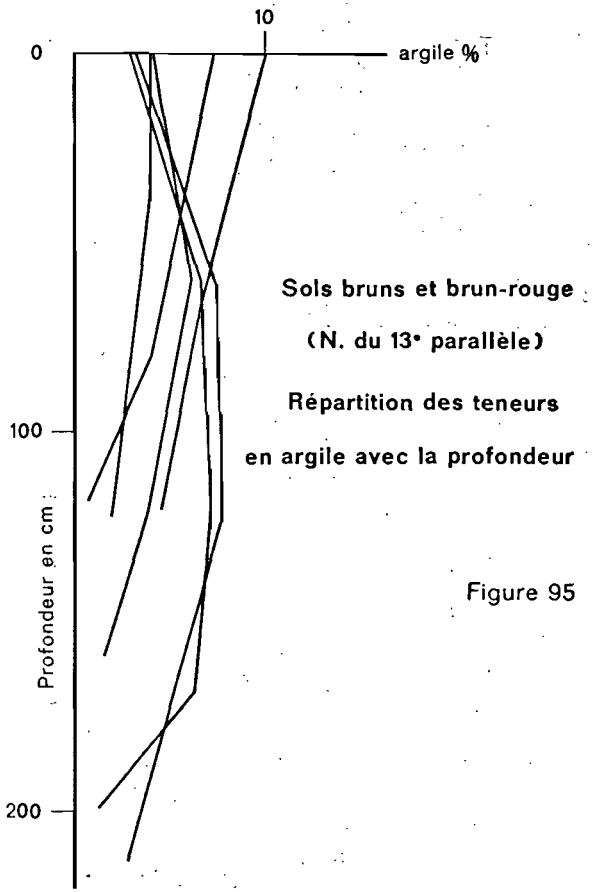


Figure 95

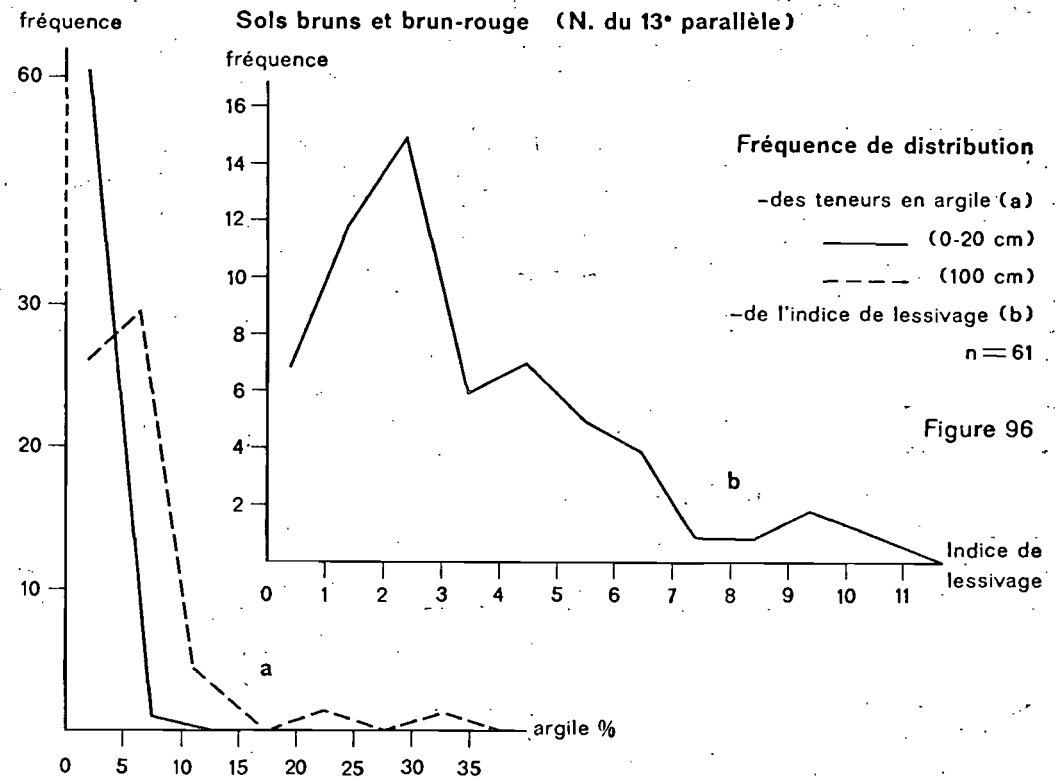


Figure 96

Les acides humiques dominent en surface, tandis qu'en profondeur les acides fulviques sont moins importants que dans les sols cités auparavant (sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux), sauf dans les horizons profonds des sols brun-rouge.

Les pH de ces sols sont compris entre 6 et 8 en surface, le plus souvent entre 7 et 8 pour les sols bruns. Ils décroissent avec la profondeur beaucoup moins rapidement pour les sols bruns que pour les sols brun-rouge, pour atteindre parfois vers 100 cm des pH franchement acides inférieurs à 6. Ils se relèvent ensuite parfois à plus grande profondeur (figure 98).

En remontant en latitude, ce phénomène tend à disparaître. Si l'on assiste toujours à une baisse des pH dans les horizons profonds, les pH de ceux-ci sont généralement plus élevés, voisins de la neutralité.

La somme des cations échangeables a des valeurs très faibles comprises souvent entre 1 et 2 me % en surface, ceci tant pour les sols bruns que pour les sols brun-rouge. En profondeur, la fréquence entre 1 et 2 me % est moins accusée (figure 99).

La variation de S dans le profil est très diverse. S'il y a le plus souvent une diminution progressive avec la profondeur, on observe parfois une augmentation de S vers 40 à 60 cm. La décroissance est générale et souvent très accusée dans les horizons profonds représentant la roche mère légèrement plus sableuse, sauf dans le cas où des phénomènes locaux d'hydromorphie s'accompagnent de très légère accumulation calcaire ou d'halomorphie.

Les ions Ca et Mg représentent 70 à 95% de S.

Ca est le plus souvent compris entre 0 et 2 me % (surface et profondeur). Cependant, en profondeur, la courbe de fréquence s'étire plus sur l'axe des abscisses.

Les valeurs de Mg sont beaucoup plus faibles, comprises fréquemment entre 0 et 0,2 me %.

L'ion K se situe entre 0 et 0,1 me %. L'ion Na a une valeur analogue. Certains profils vont présenter cependant des taux plus importants de K et Na et principalement de ce dernier cation. On constate, dans les horizons profonds, une certaine hydromorphie qui s'accompagne d'halomorphie (pseudo-mycelium composé de calcaire et de sels solubles).

Ces remarques sur S et les différents cations sont valables tant pour les sols bruns que pour les sols brun-rouge.

Si le degré de saturation est plus élevé (60 à 80% et même 100%) que dans les autres sols décrits précédemment, il peut présenter encore des chiffres assez bas (entre 30 et 50%). On constate ceci dans les horizons inférieurs de sols brun-rouge vers 80-100 cm ou beaucoup plus haut quand les horizons bruns A_{11} et A_{12} sont peu épais. On peut soupçonner là un rajeunissement intense et continuel de ces profils qui s'observent principalement sur des hauts de dunes ou des pentes assez accusées de celles-ci.

Certains profils de sols bruns présentent de très faibles accumulations de CO_3Ca (1-2%) qui ont pour effet une saturation du complexe. Ils s'observent au voisinage des zones basses (à mi-hauteur d'interdunes envahies par le lac en janvier-février, cuvette où la nappe remonte en cours d'année ...). Cette saturation du complexe est également observée dans des sols bruns

présentant un niveau à alcalis profond.

Parmi les éléments totaux, on constate une prédominance du quartz qui représente 90 à 95%. Les rapports $Si\ O_2/Al_2\ O_2$ sont nettement supérieurs à 2, tant dans l'échantillon global (profil T 1) que dans la fraction colloïdale inférieure à 2 μ.

L'examen aux rayons X révèle qu'elle est constituée :

- par des hydroxydes de fer, principalement de la goethite à l'état de traces, souvent négligeables, malgré des quantités importantes trouvées à l'analyse triacide;
- par de la kaolinite et de la montmorillonite en codominance dans des proportions variables, d'illite généralement plus faible. Les teneurs faibles en Mg (0,35 à 1,82%) et la richesse en fer (5 à 13,6%) de la fraction argileuse militent en faveur de montmorillonite ferrifère (tableau 52 en annexe).

On remarquera que les échantillons de la région est du Tchad sont beaucoup plus riches en kaolinite (40 à 65%) que ceux de la bordure immédiate du lac Tchad (Bol-Tchingam) à dominance de montmorillonite (60 à 70%). L'illite est assez peu abondante (5 à 20%).

Dans l'échantillon de sol, les taux de fer total sont peu élevés, le plus souvent inférieurs à 1%. On observe une augmentation en profondeur dans l'horizon brun-rouge, une diminution nette dans le matériau originel. Les taux de fer total comme ceux de fer libre suivent la répartition en éléments fins inférieurs à 2 μ.

Les rapports fer libre/fer total sont très variables, pouvant aller de 20 à 60% suivant la nature de la fraction argileuse (40 à 50% pour des échantillons de l'Est les plus riches en kaolinite, 20 à 25% pour ceux où domine la montmorillonite).

Parmi les éléments traces, on notera les concentrations correctes en manganèse, strontium, zirconium, ou variables en chrome, tandis que les teneurs en molybdène, vanadium, cuivre, nickel sont souvent faibles à quelques exceptions près. Les teneurs en baryum sont élevées (tableau 53 en annexe).

Les sols bruns et brun-rouge possèdent les caractères morphologiques et analytiques des sols isohumiques subarides.

- Situés entre les isohyètes 500 et 200 mm, ils ont un profil de type AC (sol brun) ou A (B) C (sol brun-rouge) avec un horizon A bien développé, 80 à 100 cm (sol brun) ou 50 à 60 cm (sol brun-rouge); dans ce dernier cas, présence de (B) de 100 cm.

- Une coloration assez uniforme dans la gamme des 10 YR (5/3 - 6/3 sol brun), coloration qui passe ensuite dans celle des 5 YR ou 7,5 YR (6/6 sol brun-rouge).

- Une texture sableuse, l'indice de lessivage est compris entre 1 et 3. On observe un léger "ventre" d'accumulation argileuse en profondeur

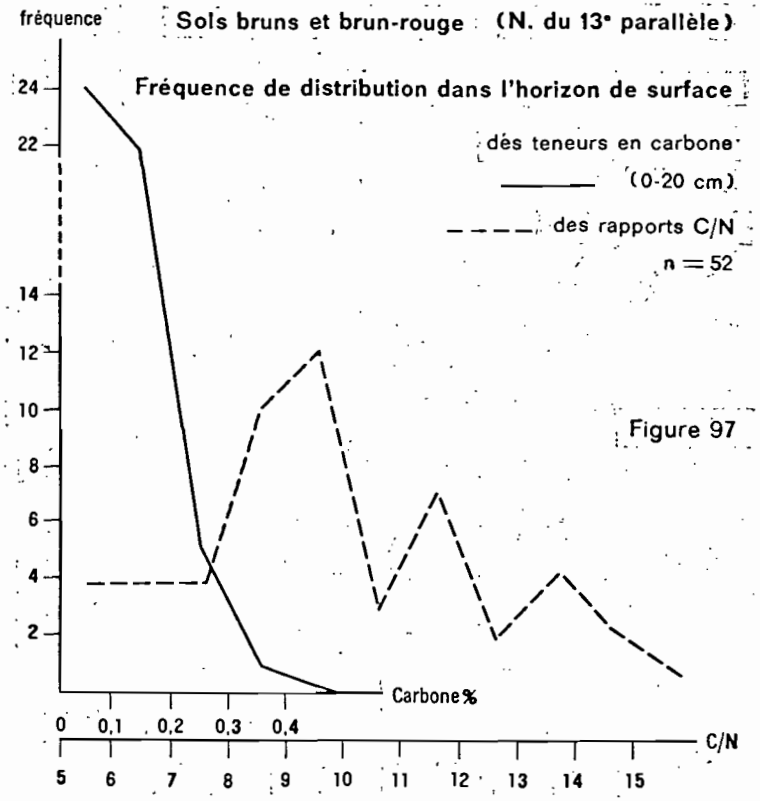


Figure 97

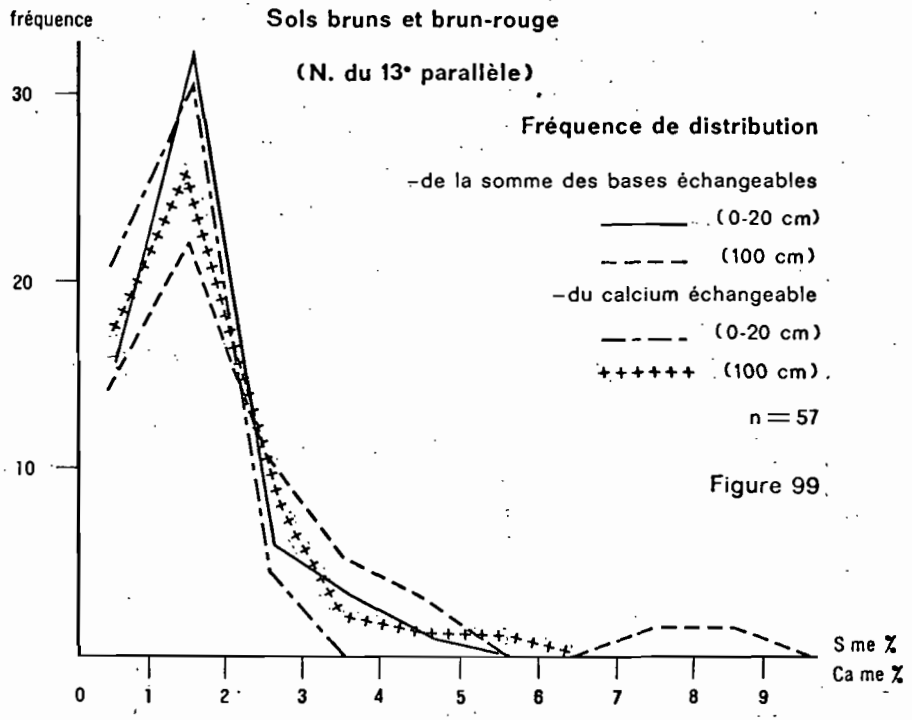


Figure 99

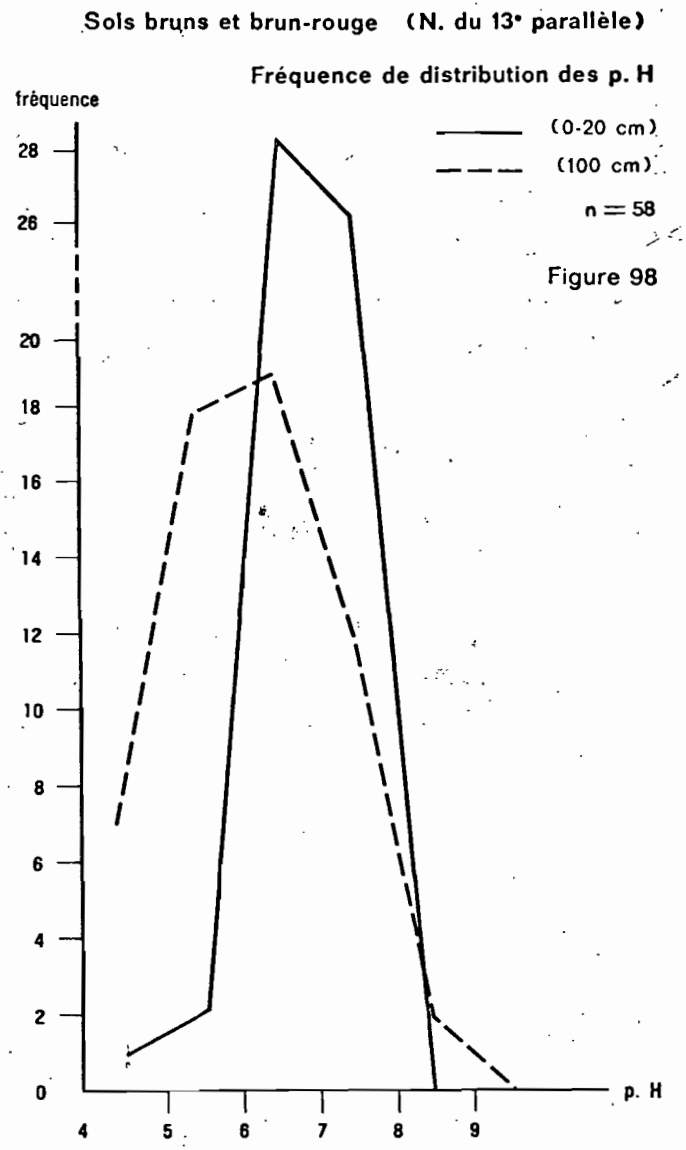


Figure 98

ainsi que parfois des raies d'accumulation argileuses ou ferrugineuses.

- Une structure moyenne à bonne en surface, moyenne à mauvaise en profondeur.

- Une perméabilité en sol humide, faible (méthode Hénin), bonne en sol sec (méthode Muntz).

- Des taux de carbone peu élevés (0 à 0,2 %).

- Des rapports C/N compris entre 8 et 10.

- Une dominance des acides humiques dans l'ensemble du profil, plus marquée que pour les sols précédents. Ce caractère est surtout valable dans le cas de sol brun.

- Des pH compris entre 6 et 8, diminuant fortement en profondeur pour les sols brun-rouge, plus faiblement pour les sols bruns.

- Une valeur de S comprise entre 1 et 2 me %. Ca domine, Mg est plus faible, K et Na sont généralement très faibles.

- Des taux de saturation souvent de 60 à 80%, ou même de 100% (présence de CO_3 Ca en faible quantité). On observe cependant des chiffres très bas dans les horizons (B) des sols brun-rouge.

- Des taux de fer total faibles (1%) qui croissent un peu en profondeur avec le taux d'argile pour diminuer avec la roche mère.

- Une fraction argileuse avec prédominance de kaolinite dans l'Est où s'ajoutent montmorillonite, illite et goethite. Il n'y a pas de différence entre sol brun et sol brun-rouge. Sur la bordure du lac, la dominance revient à la montmorillonite accompagnée d'illite, de kaolinite.
Il s'agit dans les deux cas, de montmorillonite ferrifère (nontronite).

Certains de ces sols peuvent présenter, dans leurs horizons profonds, des phénomènes d'hydromorphie ou d'alcalisation . Ils sont peu fréquents, sauf au voisinage immédiat du lac Tchad ou de cuvettes inondées temporairement. Les accumulations de calcaire sous forme diffuse sont assez rares et peu accusées (quelques % de CO_3Ca).

On remarquera les analogies existant entre les sols beiges à taches rares ou absentes (sols ferrugineux tropicaux) et les sols brun-rouge.

Analogies :

- d'épaisseur de profil pouvant atteindre 2 m, alors que le sol brun sur un matériau jeune ou ancien mais rajeuni est de l'ordre du mètre;

- de texture, très sableuse pour tous deux bien que l'origine du matériau soit différente puisque les premiers sont issus du sud du Tchad et les seconds de l'Est, du Nord;

- d'indice de lessivage dans les deux cas compris entre 1 et 3. On observe fréquemment des raies ou lignes d'accumulation ferrugineuses ou argileuses;
- de coloration dans les horizons profonds qui dénonce une individualisation du fer;
- de pH 5 - 6 dans les horizons profonds;
- de taux de saturation parfois très bas dans les horizons brun-rouge;
- dans la composition de la fraction humique totale où dominent, largement en profondeur, les acides fulviques.

Les sols brun-rouge apparaissent comme d'anciens sols ferrugineux tropicaux peu lessivés où l'individualisation du fer résulte d'une pédogenèse antérieure. Ils subissent actuellement l'agressivité d'un climat plus aride se traduisant par une évolution différente de la matière organique à l'origine de la steppisation. Celle-ci est partiellement masquée par les caractères hérités. L'apparition de vrais sols bruns dans cette série ancienne ne peut s'expliquer que par rajeunissements du matériau originel, telle l'ablation du premier sol préexistant.

3. LES SOLS DE LA SERIE SABLEUSE RECENTE

Ils occupent des superficies beaucoup moins étendues que ceux formés sur les séries précédentes et sont localisés principalement dans les bassins alluviaux :

- du Logone, du Chari, du Batha et de leurs affluents (Bahr Salamat, Aouk ...) ou de leurs défluents anciens ou actuels (Bahr Erguig, Batha de Laïri ...) qui recoupent d'anciennes étendues lacustres - sud du 13° de latitude nord.
- de multiples cours d'eau descendant du Ouaddaï et qui ont implanté leurs lits surtout fossiles dans les sables de la série ancienne précédente (Ouadis Enné, Adad, Karma, Achim ...) - nord du 13° de latitude nord.

On observe cette série sur le pourtour des massifs montagneux où elle forme des accolements sableux d'origine éolienne et sur les rivages sud et SW du lac Fitri où elle constitue un petit erg de dunes longitudinales.

3.1. SOLS DES BASSINS ALLUVIAUX DU LOGONE ET CHARI, DE LEURS AFFLUENTS OU DEFLUENTS ANCIENS OU ACTUELS

La série sableuse récente se localise d'une façon générale en d'étroites bandes différemment orientées qui représentent les chenaux de multiples voies d'eau dans d'anciennes étendues lacustres encore inondées de nos jours, mais plus modérément, par la crue des fleuves.

Ces alignements se rencontrent en deux régions principales :

- le bassin du moyen Logone avec des orientations SN;
- l'ancien bassin du Bahr Azoum où coulent actuellement les bahrs Salamat et Aouk (orientation NE - SW).

On observe des orientations plus modestes :

- sur la rive gauche du Chari à l'ouest de Bousso;
- dans la fosse de Massénya;
- le long de l'actuel Chari entre Mogroum et Fort-Lamy.

Du fait de leur situation géographique au milieu de dépressions inondables, les sols que nous allons observer présentent des caractères d'hydromorphie et d'halomorphie plus marqués et plus fréquents que ceux formés sur la série ancienne.

Nous allons encore trouver des sols beiges :

- à taches rares ou absentes;
- à taches et concrétions ferrugineuses.

Nous décrirons trois profils représentant un sol à taches et concrétions, mais forte hydromorphie de profondeur, un sol à caractère hydromorphe dès la surface et un sol où des phénomènes d'halomorphie sont visibles.

3.1.1. M o r p h o l o g i e

Profil T 42 : sol à taches et concrétions à caractères hydromorphes marqués en profondeur.

Localisation : butte de Daloué au sud d'Eré. 9°40 latitude nord - 15°45 longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 1000 mm.

Topographie : butte surplombant de 2 à 3 m les plaines d'inondation environnantes.

Erosion non visible, la pente est difficilement appréciable à l'oeil.

Drainage superficiel relativement bon.

Végétation : jachère après culture de sorgho avec grands arbres conservés lors du défrichement : Parkia biglobosa, Butyrospermum parkii ...

0 - 15 cm : gris-brun (10 YR 4,5/2) , sableux, fondu à tendance nuciforme, porosité tubulaire et d'agrégats, compacité et cohésion faibles, très bon enracinement.

15 - 35 cm : transition, brun (10 YR 5/3), sableux, fondu, à tendance polyédrique, porosité tubulaire assez faible, compacité et cohésion un peu plus fortes.

35 - 100 cm : beige-brun (10 YR 6/3) un peu plus argileux, tendance polyédrique plus affirmée, ainsi que la compacité et la cohésion.

100 - 175 cm : beige (10 YR 7/3) à trainées blanches et marbrures rougeâtres ou brun-rouille (2,5 YR 4/8), concrétions noirâtres non consolidées, sablo-argileux, humide.

175 - 280 cm : beige clair (10 YR 8/3) avec taches, marbrures, concrétions plus marquées, concrétions noirâtres en voie de consolidation, argilo-sableux, compacité et cohésions plus fortes, humide.

280 - 540 cm : rose (7,5 YR 7/4) bariolé de veinules blanches ou taches plus foncées, gris (7,5 YR 7/0), ocre (7,5 YR 7/8), ocre-rouge (5 YR 7/6), argilo-sableux, très forte humidité, plastique. La nappe sourd à 360 cm.

Ce profil a été prélevé en mai, soit en début de saison des pluies. On notera la nappe existant encore à faible profondeur.

Profil T 3 : sol à taches et concrétions à hydromorphie marquée près de la surface.

Localisation : près de Charati au SE du lac Iro. 10°10 latitude nord - 19°45 longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 950 mm.

Topographie : zone plane de la dépression au voisinage d'un alignement sableux.

Drainage : inondé en saison des pluies sous 60 à 80 cm d'eau.

Végétation : tapis graminéen brûlé, rares Gardenia sp.

0 - 10 cm : gris à gris-brun (10 YR 4,5/2), sableux, nuciforme, porosité d'agrégats, cohésion et compacité faibles, très nombreuses racines.

10 - 30 cm : gris-beige (10 YR 5,5/3), sableux, identique à cohésion un peu plus forte, porosité tubulaire faible, peu de racines.

30 - 75 cm : beige (10 YR 6/4) à marbrures jaunâtres (7,5 YR 6/6), sableux, polyédrique fin à moyen, cimentation assez forte. Quelques masses noirâtres de 2 à 3 cm de diamètre peu consolidées.

75 - 120 cm : beige plus clair (10 YR 6,5/3), identique mais taches rouille ou jaunâtres plus abondantes ainsi que concrétions noirâtres semblables mais durcies, de formes diverses, assez arrondies.

Profil D 33 : sol à taches, pseudo-mycelium et masses calcaires.

Localisation : est de Mandélia (sud de Fort-Lamy). 11°45 latitude nord - 15°20 longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 700 mm.

Topographie : plane.

Erosion superficielle visible, marquée par la discontinuité de l'horizon supérieur.

Drainage déficient, présence de petites mares.

Végétation clairsemée de Ziziphus mauritiaca, Balanites aegyptiaca, Acacia seyal, Dalbergia melanoxylon. Tapis graminéen ras et discontinu de Schoenefeldia gracilis.

0 - 5 cm : gris-beige (10 YR 6/2), sableux particulaire. Cet horizon est discontinu et se localise autour des arbustes.

5 - 25 cm : gris-beige (10 YR 6/2) à trainées rouille abondantes, sableux, cubique, tendance à former des colonnettes, très compact et forte cohésion, porosité vésiculaire développée dans la partie supérieure, moindre ensuite, enracinement faible. Quand cet horizon apparaît en surface, on note une pellicule noirâtre de matière humique et argileuse se desquamant en fines lamelles et également quelques petits amas calcaires et gravillons ferrugineux.

25 - 60 cm : beige (10 YR 7/2) à taches rouille peu abondantes, pseudo-mycelium et masses calcaires blanchâtres, sablo-argileux, polyédrique, moyen à fin, compacité et cohésion fortes .

60 - 100 cm : très tacheté, rouille et ocre à pseudo-mycelium et masses calcaires abondantes, concrétions noirâtres assez nombreuses, structure, compacité et cohésion identiques à l'horizon ci-dessus.

3.1.2. Caractères analytiques des profils T 42 T 3 D 33

Tableaux XII, XIII et XIV

3.1.3. Caractères analytiques généraux

Le premier profil est identique à ceux décrits précédemment pour la série ancienne au sud du 13è parallèle; il en diffère cependant par une hydromorphie plus marquée dès l'horizon B_1.

Le second profil présente des caractères d'hydromorphie pratiquement dès la surface. On y distingue les horizons suivants :

A_{11} légèrement enrichi en matière organique, grisâtre, peu structuré.

A_{12} de transition par sa couleur.

(B_1) g polyédrique, à pseudo-gley (marbrures et rares concrétions).

(B_2) gc identiques à taches abondantes et concrétions.

Dans les sols de ce type, C est peu discernable, le pseudo-gley se poursuivant sur plusieurs mètres jusqu'au changement de matériau.

Le troisième profil présente, en plus des caractères précédents, un pseudo-mycelium et des amas calcaires. On y observe les horizons :

A_1 peu humifère, grisâtre, peu structuré, de quelques centimètres.

A_2 - (B_1) structural, cubique ou en colonnettes, peu humifère.

B_2 Ca polyédrique, à pseudo-mycelium et amas calcaire.

Bg Ca polyédrique, à pseudo-gley, à pseudo-mycelium et amas calcaires.

Les horizons B Ca, Bg Ca sont à fortes compacité et cohésion.

Dans certains profils, se distingue un horizon blanchi B_{11} assez développé, 5 à 10 cm au sommet du B_1; il présente une très bonne porosité vésiculaire.

Le passage à C, ici encore, est très indistinct.

Dans la plupart des cas, l'horizon de surface est sableux, parfois faiblement sablo-argileux. Il y a entre 0 et 10% d'argile en surface, tandis qu'en profondeur les taux d'argile s'élèvent sans qu'une fréquence particulière se détache bien entre 0 et 35% (figure 100).

Les courbes de distribution de pourcentage d'argile en fonction de la profondeur sont de 2 types (figure 101) :

- sol très sableux où se dessine un léger ventre de lessivage (profil I 4).
- sol sableux à sablo-argileux. Le pourcentage d'argile augmente progressivement en profondeur, puis demeure constant (profils T 4 - T 42 - T 39). On observe parfois un léger "bec" plus argileux au sommet du B, puis les taux d'argile restent sensiblement constants (profils D 33).

Si, dans le premier cas on peut parler de lessivage vertical de l'argile, dans les seconds, le lessivage oblique est plus vraisemblable. L'indice de lessivage est très variable. La fréquence le plus souvent observée se situe entre 1 et 2. On notera que les sols à pseudo-mycelium et amas calcaires sont parmi les plus argileux en profondeur et que les indices de lessivage y sont les plus forts (figure 100).

La coloration de ces sols est identique à celle de ceux formés sur la série ancienne et se tient dans la gamme des 10 YR grisâtre, gris-brun en surface, beige, jaunâtre en profondeur avec des taches ou marbrures d'hydroxydes plus foncées, rouille, brun-rouille ou blanchâtres dans le cas de pseudo-mycelium.

La structure est variable :

- fondue, nuciforme ou particulaire dans les horizons A.
- polyédrique fine à moyenne dans les horizons B, Bg, Bg Ca où la cimentation est plus forte.
- cubique ou en colonnettes sur une vingtaine de cm dans le haut de certains horizons B.

La compacité et la cohésion augmentent avec la profondeur. La première devient très grande dans les sols à pseudo-mycelium et amas calcaires, tandis que la cohésion est assez faible, les éléments structuraux se débitant facilement en fins polyèdres.

L'instabilité structurale augmente aussi en profondeur. Pour les horizons supérieurs très sableux, elle apparaît faible, mais croît rapidement indiquant le faible pourcentage d'agrégats stables. IS est alors très souvent supérieur à 2. C'est le cas des horizons à pseudo-gley et pseudo-mycelium.

La perméabilité de ces sols sur échantillon humide est diverse d'un type à l'autre :

- sols à caractères hydromorphes marqués :
  . perméabilités faibles dès la surface, identiques à celles relevées en profondeur dans les sols à taches et concrétions;
- sols à pseudo-mycelium et masses calcaires :
  . perméabilités très faibles inférieures à 1 cm/heure, sauf dans l'horizon superficiel sableux.

La porosité moyenne à faible dans les horizons de surface est très faible à nulle en profondeur.

Les taux de carbone en surface sont peu élevés (0 à 0,75%) avec la plus forte fréquence entre 0,25 et 0,50%. Les rapports C/N sont très divers, compris entre 6 et 20 sans que se note de fréquence dominante. Les sols à pseudo-mycelium se groupent entre 6 et 12 (figure 102).

La matière humique totale est diversement représentée. En surface, elle est comprise entre 0,49 et 1,23%.

Les taux d'humification sont très bas dans les sols où l'hydromorphie est la plus marquée (sols inondés compris entre 10 et 20%); ils sont plus élevés lorsque le drainage est meilleur : 30% en surface, 40 à 50% en profondeur.

Le pH des horizons de surface se situe entre 6 et 7. En profondeur, la courbe de fréquence est plus étalée avec une dominante entre 5 et 8. Les sols à pseudo-mycelium se groupent entre 7 et 10. Pour ceux-ci, il y a une augmentation très nette en profondeur (figure 103).

La valeur de S pour les horizons de surface est variable (0 à 9 me %), le plus souvent entre 3 et 4 me %. En profondeur, la courbe de répartition est très étalée. L'ion Ca domine et représente 50 à 85% de S en surface. La courbe de fréquence présente un maximum entre 1 et 3 me % tandis qu'en profondeur, il n'y a pas de dominance bien marquée entre 1 et 4 me % (figure 104).

L'ion Mg est surtout compris entre 0,2 et 1 me %, et moins souvent entre 1 et 2 me %, tant en surface qu'en profondeur. Le rapport Ca/Mg peut varier de 1 - 1,5 à 10.

L'ion K a des fréquences décroissantes de 0 à 0,4 - 0,5 me %.

L'ion Na a des valeurs comprises entre 0 et 0,5 me % en surface, avec la plus forte fréquence entre 0 et 0,1 me %, sauf pour les sols à pseudo-mycelium où les taux de Na sont beaucoup plus élevés en profondeur, compris presque uniquement entre 0,6 et 8 me % (figure 105). Les rapports Na/Ca échangeables dans ces horizons profonds sont alors élevés, oscillant entre 19 et 80%. Les rapports Na/S, s'ils sont plus faibles, sont également forts, entre 14 et 35%.

Ces derniers sols contiennent d'autre part des sels solubles en quantité déjà importante, fréquemment 1, 2, 3 me de Na sous forme de sulfate, bicarbonate ou carbonate. Les autres cations solubles sont moins abondants. La conductivité de l'extrait de saturation de leur pâte de sol est de l'ordre de 0,5 à 2 millimhos.

Les taux de saturation sont élevés (50 à 80%, parfois 100%) dans les sols à hydromorphie de surface et de profondeur, très élevés dans ceux à pseudo-mycelium qui sont toujours saturés en profondeur (figure 106).

L'analyse totale de ces sols révèle l'importance de la fraction quartzeuse. En plus de cette dernière, s'observent des quantités plus ou moins élevées de minéraux primaires non altérés, essentiellement du feldspath, ceci principalement dans les horizons profonds.

Les rapports Si 02/Al 2 03 de la fraction totale du sol ou de sa fraction colloïdale sont très supérieurs à 2. Les rapports Si 02/R2 03 moins élevés ont des variations assez parallèles.

La fraction colloïdale apparaît constituée dans la plupart des cas, et ceci dans les bassins du moyen Logone et Bahrs Aouk et Salamat, de kaolinite dominante (60 à 70%) à laquelle s'ajoutent de l'illite en plus faible quantité (20 à 35%) et, dans certains cas, de la goethite. Ceci à une exception près (échantillon T 39 où la montmorillonite est importante -30 à 35%-, associée à de la kaolinite et à de l'illite). Figure 108.

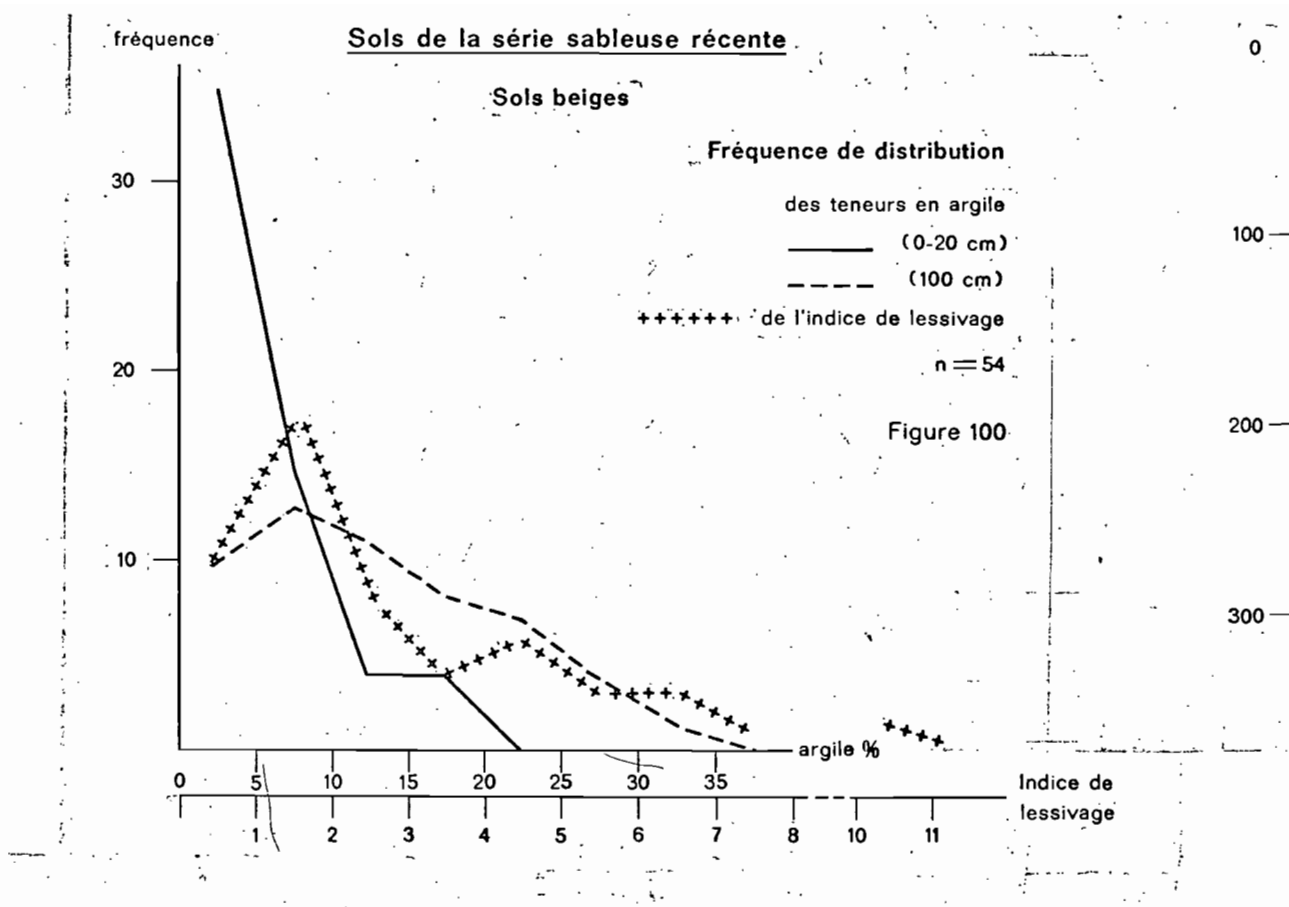
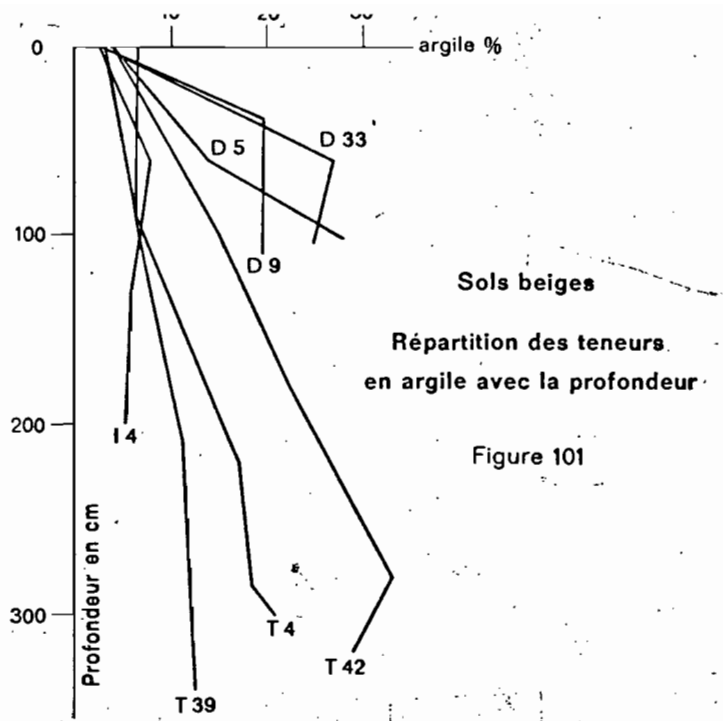


Figure 100



Sols beiges

Répartition des teneurs en argile avec la profondeur

Figure 101

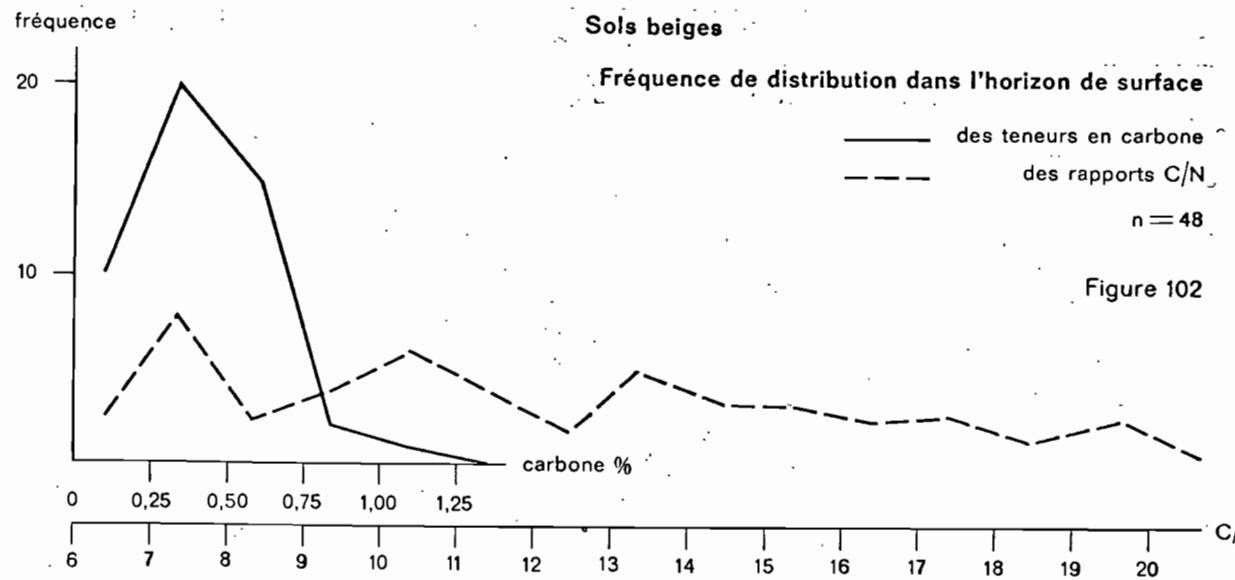


Figure 102

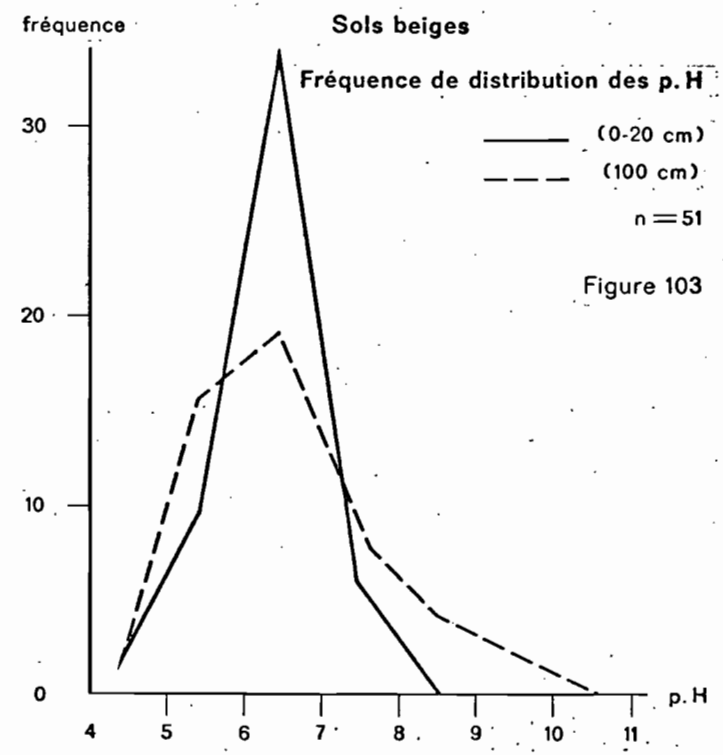


Figure 103

Sols beiges

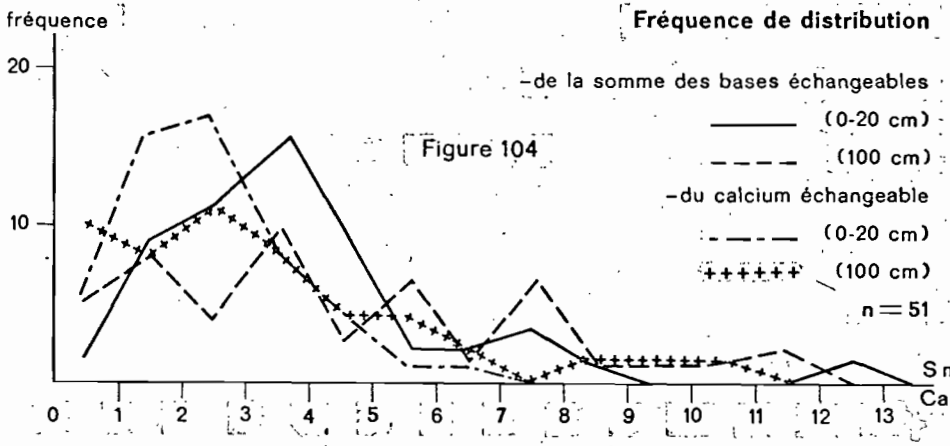


Figure 104

Sols beiges

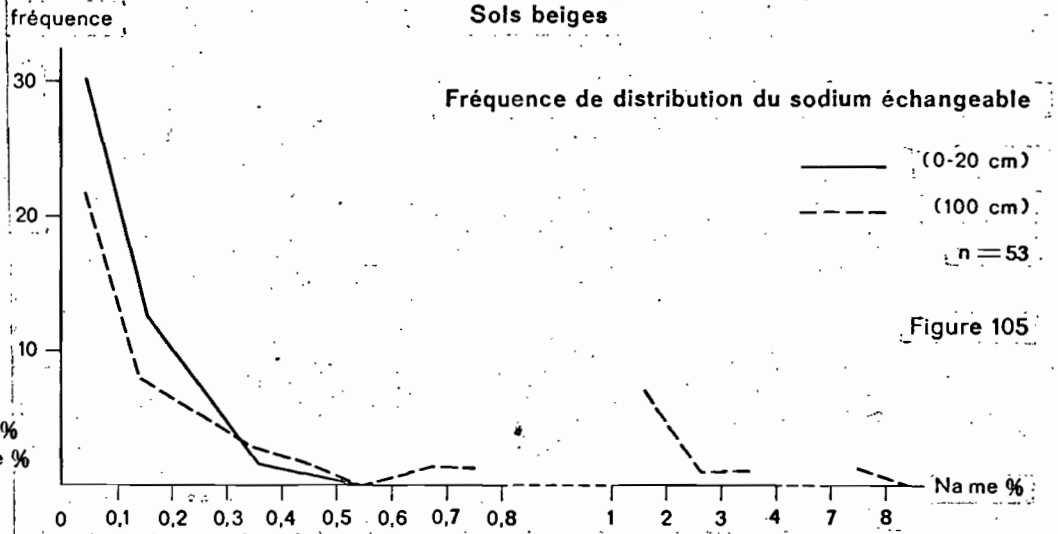


Figure 105

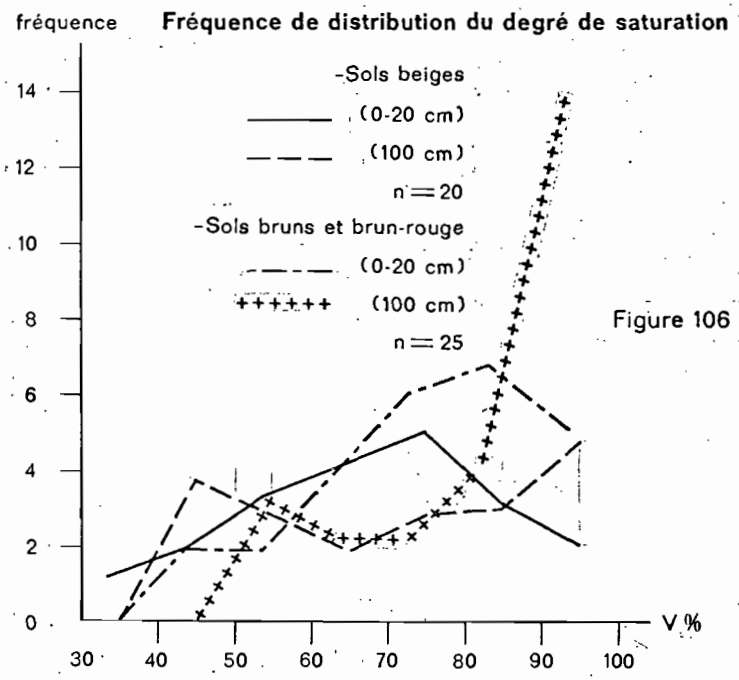


Figure 106

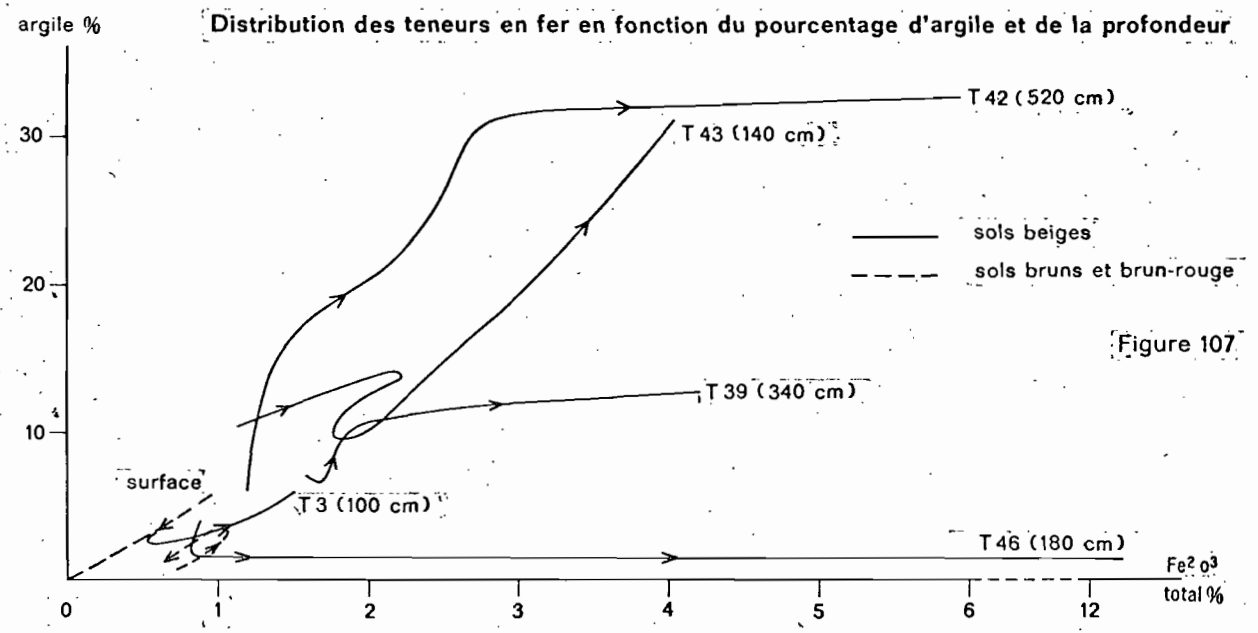


Figure 107

Les quantités de fer total contenues dans ces sols augmentent d'une façon générale avec la profondeur en même temps que le pourcentage d'argile croît. Lorsque ce dernier tend à se stabiliser, la teneur en Fe_2O_3 croît parfois rapidement. On arrive ainsi à observer des concentrations relativement élevées qui peuvent donner naissance dans de rares cas à une forte cimentation d'un sable qui prend alors l'apparence d'un grès ferrugineux très dur (profil T 46). Figure 107.

Les rapports $\frac{\text{fer libre}}{\text{fer total}}$ augmentent d'une façon générale avec la profondeur de 50 à 80-85%.

Les éléments traces sont en teneurs variables (tableau 54 en annexe), faibles (Mo, Sn), faibles à moyennes (V, Li), moyennes (Sr), moyennes à fortes (Ba, Rb).

Pour certains éléments (Pb, Cu, Zn, Zr, Ni, Co, Cr), les teneurs sont faibles à moyennes dans les bassins des bahrs Aouk, Salamat, Keïta (profils T 3 - T 4), moyennes à fortes dans celui du moyen Logone (profils T 39 - T 42).

Certaines valeurs en manganèse sont élevées (échantillons T 392 - T 421).

La disproportion entre les valeurs du strontium et du baryum cesse le plus souvent d'exister. On assiste à une remontée du rubidium.

Les sols de cette série présentent des caractères morphologiques et analytiques des :

- sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley
- sols hydromorphes
- sols halomorphes.

Les sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley sont voisins de ceux de la série ancienne (sols lessivés ou non à taches et concrétions). Ils présentent un profil ABC où l'horizon B possède déjà partiellement les caractéristiques d'un pseudo-gley, tandis que le C est difficilement discernable par suite des processus d'hydromorphie.

Les sols hydromorphes à pseudo-gley sont caractérisés par un horizon subissant un engorgement périodique où alternent des taches fortement colorées en fer ou, au contraire, appauvries en cet élément. Cet horizon subit des phénomènes d'oxydation ou de réduction annuels. Il y a une redistribution du fer dans le profil sans migration ou alors très locale. Cet horizon à pseudo-gley remonte jusqu'à l'horizon humifère. Ces sols vont être caractérisés par un profil A Bg C à B structural ou textural, ou les deux.

Les sols halomorphes ont une évolution dominée par la présence et l'action de sels solubles ou d'ions qui en proviennent. Certains vont posséder des teneurs élevées en sels solubles (carbonate et sulfate de sodium); ce sont des sols salins; les autres vont présenter une structure massive dans certains horizons due à la présence d'ion Na fixé sur le complexe absorbant du sol. Il s'agit de sols à structure dégradée à alcalis. Le profil que nous avons présenté est de ce type; il apparaît de plus lessivé en argile et la

structure particulière de son horizon B_1 en colonnettes en fait un solonetz.

Sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley et sols hydromorphes sont très voisins par leurs caractères analytiques et leur morphologie, puisqu'ils ne diffèrent que par la présence d'un pseudo-gley plus ou moins profond.

Ils peuvent également différer par certaines propriétés physiques de structure, de perméabilité ou leurs propriétés chimiques : pH, rapport C/N.

Ils sont identiques par leur texture, le lessivage apparent qu'ils ont subi, la valeur de S et des divers cations, les taux de saturation, les rapports Si 02/Al2 03 ou Si 02/R2 03, la fraction argileuse souvent à kaolinite dominante.

Les sols halomorphes à structure dégradée à alcalis vont se différencier morphologiquement des deux premiers par :

- leur structure massive de certains horizons (polyédrique moyenne à fine, cubique ou en colonnettes);
- la présence fréquente d'un pseudo-mycelium et de masses calcaires.

Il s'agit ici aussi de sols à pseudo-gley.

Analytiquement, les différences sont également sensibles :

- pourcentages d'argiles des horizons profonds légèrement plus élevés que la moyenne ainsi que l'indice de lessivage. Leur teneur en argile augmente plus rapidement en profondeur;
- instabilité structurale très élevée dans les horizons massifs;
- perméabilités faibles à nulles;
- rapport C/N relativement plus bas;
- pH très élevés dans les horizons profonds (8 à 10) alors qu'en surface ils sont identiques;
- valeurs de S, Ca, Mg, K souvent plus fortes en profondeur que la moyenne;
- valeur de Na très élevée en profondeur;
- rapport Na/Ca échangeables % supérieur à 15 et Na/S échangeables % supérieur à 12;
- présence de sels solubles en faible quantité (2 - 3 me %) où domine Na sous forme de carbonate, bicarbonate, sulfate. La conductivité de l'extrait de saturation est toujours inférieure à 4 millimhos;
- taux de saturation égal ou voisin de 100 en profondeur.

Dans ces sols, les teneurs en C03 Ca, malgré la présence de pseudo-mycelium et d'amas calcaires, sont très faibles (1 à 2% au plus).

Avant de conclure sur cette série, il est important de remettre les différents sols dans leur contexte topographique et géographique.

Cette série sableuse constitue, nous l'avons signalé, des alignements de faible largeur au milieu de dépressions périodiquement inondées :

- les sols ferrugineux tropicaux modaux ou à pseudo-gley occupent les parties hautes relativement bien drainées;
- les sols halomorphes se situent en position moyenne et font souvent la jonction avec la plaine inondable ou une dépression;
- les sols hydromorphes occupent soit la plaine inondable, soit des dépressions mal drainées.

On perçoit donc déjà le mécanisme de remontée des solutions du sol (sur lequel nous reviendrons), des sols les mieux pourvus en eau (sols hydromorphes à pseudo-gley) vers les moins bien pourvus et présentant en saison des pluies un important déficit en eau des horizons profonds du fait de leur faible perméabilité (sols halomorphes).

Géographiquement, ces derniers que l'on voit déjà dans les plaines du moyen Logone ou la dépression du bahr Salamat, sont de plus en plus répandus et étendus en remontant vers le Nord, notamment dans la région inter Logone-Chari au sud de Fort-Lamy où les conditions de drainage sont particulièrement défectueuses.

3.2. SOLS AU NORD DU 13è PARALLELE ET DU SECOND DELTA FOSSILE DU CHARI

Ils sont de deux types principaux que nous appellerons ici encore, d'après leur couleur : bruns et brun-rouge. Ils présentent des variantes assez nombreuses.

3.2.1. M o r p h o l o g i e

Profil A 77 : sol brun.

Localisation : 15 km au nord de Biltine. 14°40 de latitude nord - 20°50 de longitude est.
Long couloir orienté EW, large parfois de 8 à 10 km.

Pluviométrie moyenne annuelle : 300 mm.

Topographie : plane avec, par rares places, des mamelons témoins de l'ancien système dunaire.

Erosion : non visible.

Bon drainage.

Végétation : pseudo-steppe à tapis graminéen d'Aristidées et de Cenchrus biflorus. Quelques arbres ou arbustes : Acacia raddiana, Maerua crassifolia, Cordia gharaf, Acacia scorpioides a., Acacia senegal.
La végétation arbustive se concentre dans les dépressions relativement moins bien drainées où elle constitue une savane basse aux espèces ci-dessus, auxquelles s'ajoutent Acacia flava.

0 - 20 cm : brun clair (10 YR 6/4), sableux, fondu, cohésion et compacité très faibles, enracinement bien développé.

20 - 120 cm : brun clair (10 YR 6/4) se dégradant progressivement en des tons plus clairs (10 YR 6,5/4), caractères identiques à ceux de l'horizon précédent avec une structure tendant vers le type polyédrique et une compacité et cohésion légèrement plus fortes. Présence de sable très clair dans des poches ou chenaux (terriers).

120 - 140 cm : blanc à brun très pâle (10 YR 8/3) sableux particulaire.

Des variantes à ce type existent nombreuses, dont la principale est caractérisée par des actions d'hydromorphie qui ne se manifestent pas toujours par la présence de taches, mais par un changement dans la structure du sol qui devient plus massive.

Profil Da 8 : sol brun subissant des actions d'hydromorphie.

Localisation : nord de Bir Barka. 35 km au SW de Massakory. 12°45 de latitude nord - 15°35 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 550 mm.

Topographie : légère élévation au milieu de dépressions inondables.

Erosion : non visible.

Drainage : sans doute légèrement déficient.

Végétation : savane armée plus ou moins lâche à Acacia seyal, Acacia senegal., tapis de Cymbopogon giganteus.

0 - 20 cm : brun foncé (10 YR 4/2) sableux, fondu, cohésion faible, légèrement compact, bon enracinement.

20 - 80 cm : brun (10 YR 5/3) passant progressivement à brun clair (10 YR 7/3), sableux, tendance polyédrique puis polyédrique moyen bien marqué à partir de 60 cm, cohésion et compacité augmentant rapidement.

80 - 240 cm : blanc (10 YR 8/2) à taches rouille et marbrures, sableux, fondu, compacité et cohésion plus faibles.

Ce sont généralement ces sols que l'on observe dans le second delta fossile du Chari.

Profil A 59 : sol brun-rouge.

Localisation : Dagari. 50 km d'Am Dalam vers Abéché. 13°50 de latitude nord - 20°25 de longitude est. Accolement sableux à un pointement granitique.

Pluviométrie moyenne annuelle : 400 mm.

Topographie : pente 5% environ.

Erosion : visible, touffes de graminées souvent déchaussées, de type à la fois pluvial et éolien.

Bon drainage.

Végétation : pseudo-steppe à arbres ou arbustes clairsemés : Combretum glutinosum, Acacia senegal., Cassia obovata, Boscia senegalensis ... Tapis graminéen de Schoenefeldia gracilis, Cenchrus biflorus ...

0 - 20 cm : brun (7,5 YR 5/6), sableux, fondu, cohésion et compacité faibles, bon enracinement.

20 - 80 cm : brun-rouge (5 YR 6,5/6), sableux, fondu à légère tendance polyédrique, cohésion et compacité un peu plus fortes.

80 - 160 cm : brun-jaune clair (7,5 YR 7/6), sableux, avec présence d'éléments feldspathiques grossiers, particulaire.

160 - 240 cm : brun-jaune très clair (10 YR 7/5), identique à l'horizon précédent.

3.2.2. Caractères analytiques des profils A 77 Bo 35 A 59 Da 8

Tableaux XV XVI

3.2.3. Caractères analytiques généraux

Nous ne reviendrons que brièvement sur les caractères morphologiques de ces sols puisqu'ils sont les mêmes que ceux des sols formés sur la série sableuse ancienne. Ici encore, nous nous trouvons en présence de profils A C (sol brun) ou A (B) C (sol brun-rouge).

Ce sont les sols bruns que l'on observe ici le plus fréquemment, tandis que les sols brun-rouge, plus rares, se localisent dans l'est tchadien sous forme d'accolements aux massifs granitiques ou dans le petit erg fossile bordant le lac Fitri sur ses rives ouest et SW.

Il s'agit de sols très sableux présentant une légère augmentation des taux d'argile en profondeur (0 à 5% en surface, 5 à 10% vers 100 cm). L'indice de lessivage est compris entre 1 et 3, exceptionnellement plus. La courbe de répartition des pourcentages d'argile en fonction de la profondeur indique un léger "ventre" d'accumulation qui se situe entre 50 cm et 1 m, en même temps que peuvent apparaître des raies d'accumulation argileuse et ferrugineuse (figure 110).

Leur structure est fondue à faiblement nuciforme. Elle présente quelques variantes lorsque des caractères d'hydromorphie ou d'halomorphie commencent à se manifester. Elle devient polyédrique fine à moyenne dans le premier cas, cubique sous un horizon sableux meuble de faible épaisseur, puis polyédrique moyenne dans le second.

Les mesures d'instabilité structurale, de perméabilité, de porosité, sont identiques dans la majorité des cas à celles des sols formés sur la série ancienne, plus mauvaises s'il y a hydromorphie ou halomorphie.

Les taux de carbone sont légèrement plus élevés, compris entre 0,1 et 0,3%, encore que la courbe s'étale ici beaucoup plus sur l'axe des abscisses. Dans les sols brun-rouge, les rapports C/N se groupent principalement entre 6 et 8. Il s'agit souvent de sols de pente subissant une assez forte érosion, ce qui peut expliquer la valeur peu élevée de cet indice. Pour les sols bruns, la courbe de fréquence est très étalée avec un maximum entre 8 et 12 (figure 111).

Les courbes de fréquence des pH présentent un maximum en surface entre 6 et 7 pour les sols brun-rouge, entre 6 et 8 pour les sols bruns. En profondeur, les brun-rouge sont plus acides (maximum entre 5 et 6) que les sols bruns (maximum entre 6 et 8). D'une façon générale, les pH tendent à diminuer avec la profondeur, assez fortement dans les sols brun-rouge, plus faiblement dans les sols bruns pour se relever ensuite et très fortement dans des cas d'hydromorphie ou d'halomorphie (figure 112).

S en surface, est compris principalement entre 1 et 3 me % pour les sols brun-rouge et entre 1 et 5 me % pour les bruns, ce qui est légèrement supérieur aux résultats obtenus pour la série sableuse ancienne (brun-rouge 0 à 2 me %; bruns 1 à 3 me %).

En profondeur, S est compris entre 1 et 3 me % pour les sols brun-rouge, très étalé et sans dominante apparente pour les sols bruns, alors que nous avions, pour la série sableuse ancienne : sols brun-rouge 1 à 3 me %; sols bruns principalement entre 1 et 2 me % (figure 113).

On note souvent une augmentation de S avec la profondeur dans les sols bruns, une diminution ou des chiffres identiques pour les sols brun-rouge.

L'ion Ca est l'élément dominant compris, le plus souvent, entre 1 et 3 me % en surface, entre 1 et 5 me % en profondeur avec des chiffres également plus élevés. Il est donc plus abondant que dans la série ancienne et va contribuer à la saturation du complexe absorbant (figure 113). On observe parfois de très faibles quantités de CO 3 Ca (quelques %), mais le type de sol brun à accumulation calcaire est assez rare, sauf dans des conditions bien spéciales dont nous avons déjà parlé.

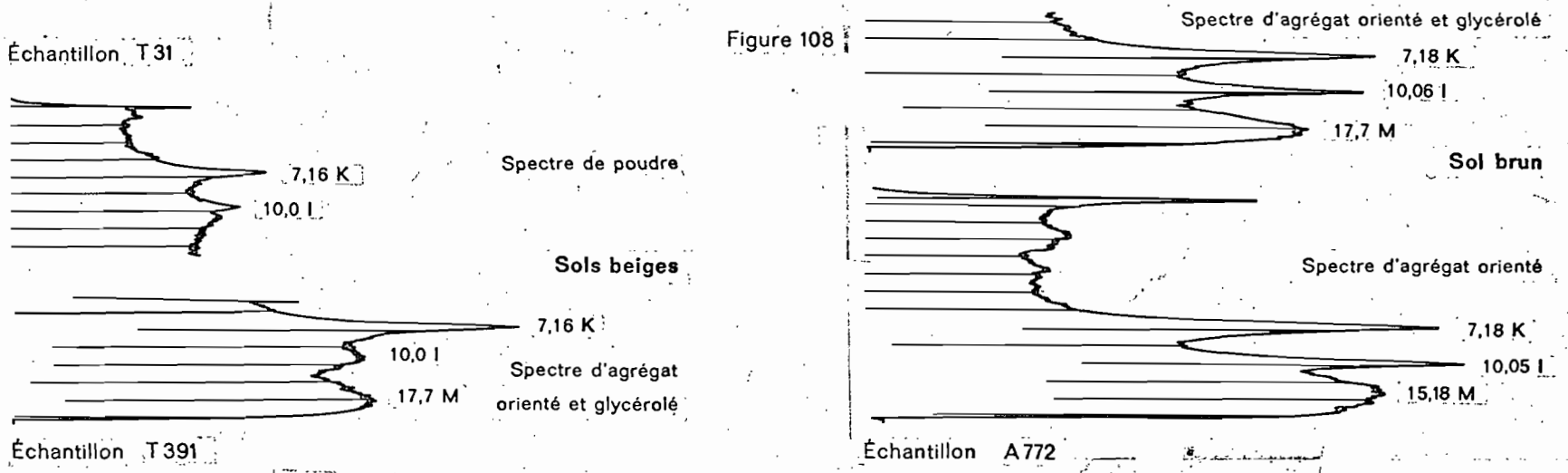
L'ion Mg a des valeurs généralement plus élevées que dans la série sableuse ancienne. Le rapport Ca/Mg est variable (1 à 10) mais le plus souvent compris entre 3 et 5.

L'ion K varie entre 0 et 0,3 me %. Il présente donc aussi des valeurs supérieures dans cette série tant pour les sols bruns que brun-rouge.

L'ion Na a sa plus forte fréquence entre 0,1 et 0,2 me % (0 et 0,1 me % dans la série sableuse ancienne). Des taux relativement élevés se notent

Diagrammes de rayons x (fraction 2 µ)

Figure 108



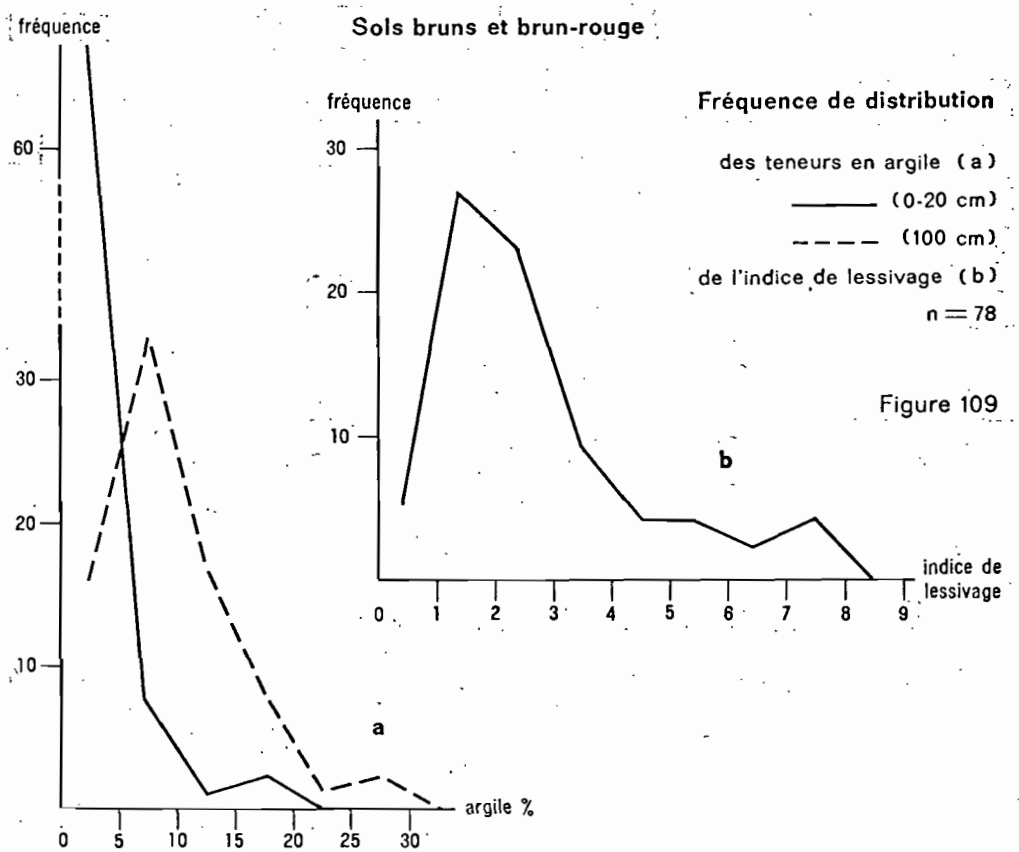


Figure 109

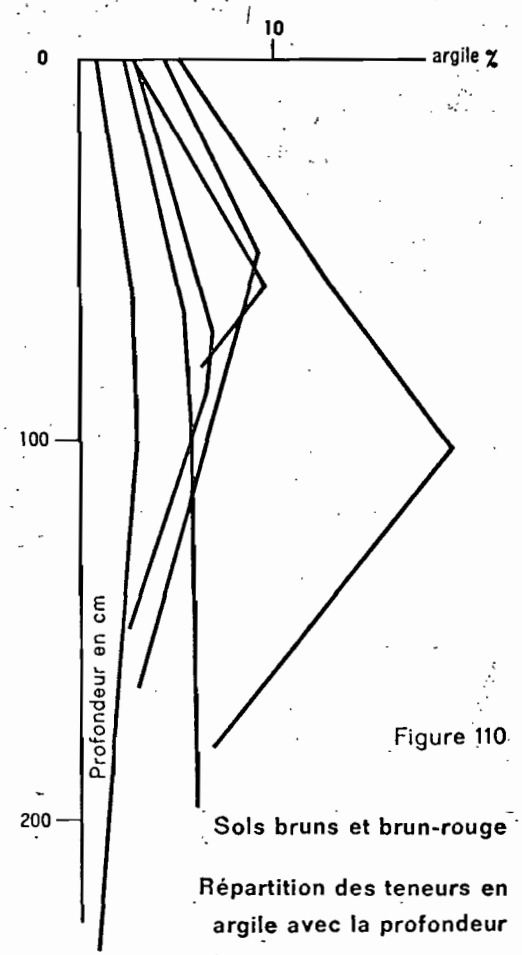


Figure 110

Sols bruns et brun-rouge

Répartition des teneurs en argile avec la profondeur

Sols bruns et brun-rouge

Fréquence de distribution dans l'horizon de surface

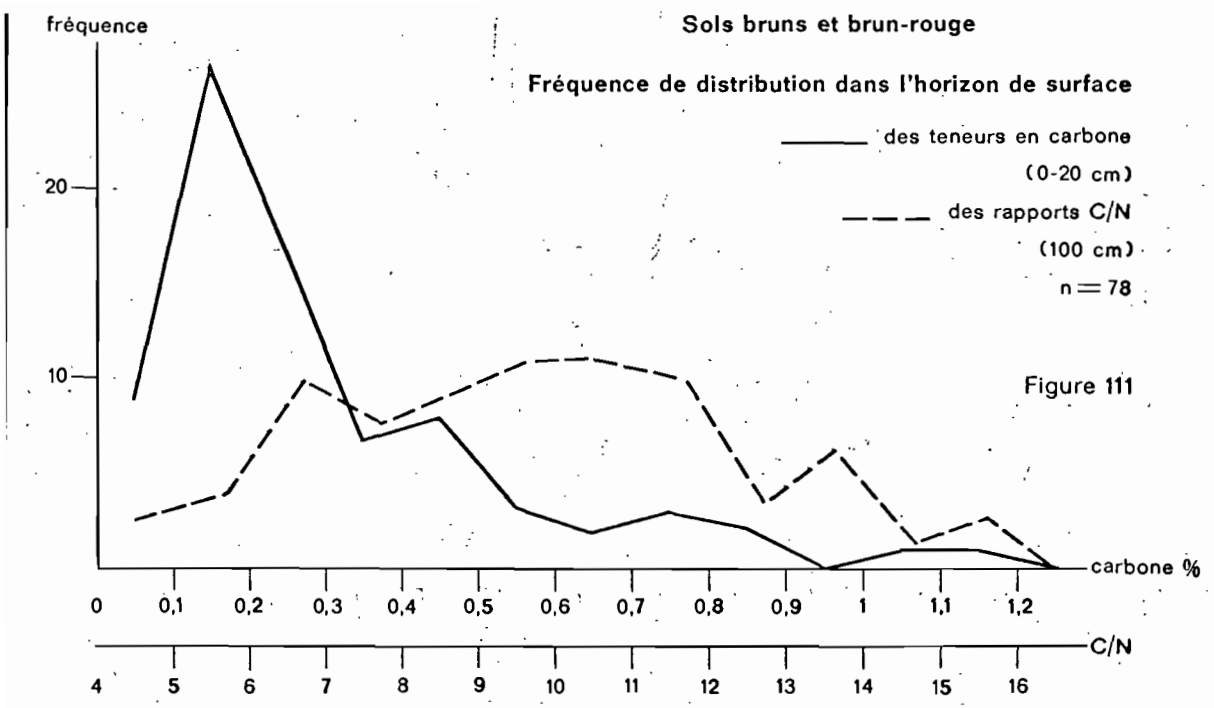


Figure 111

Fréquence de distribution des p. H

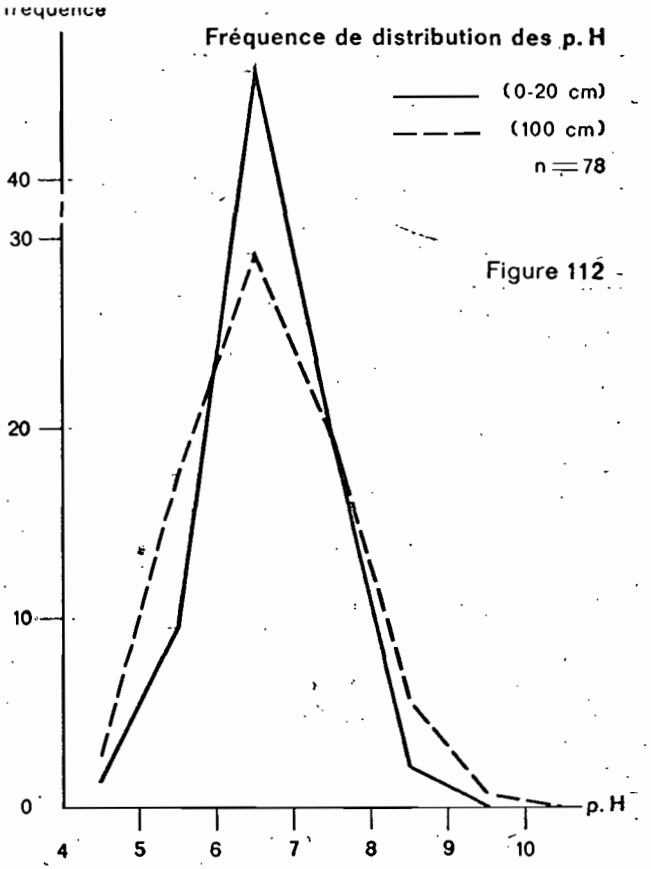


Figure 112

Sols bruns et brun-rouge

Fréquence de distribution

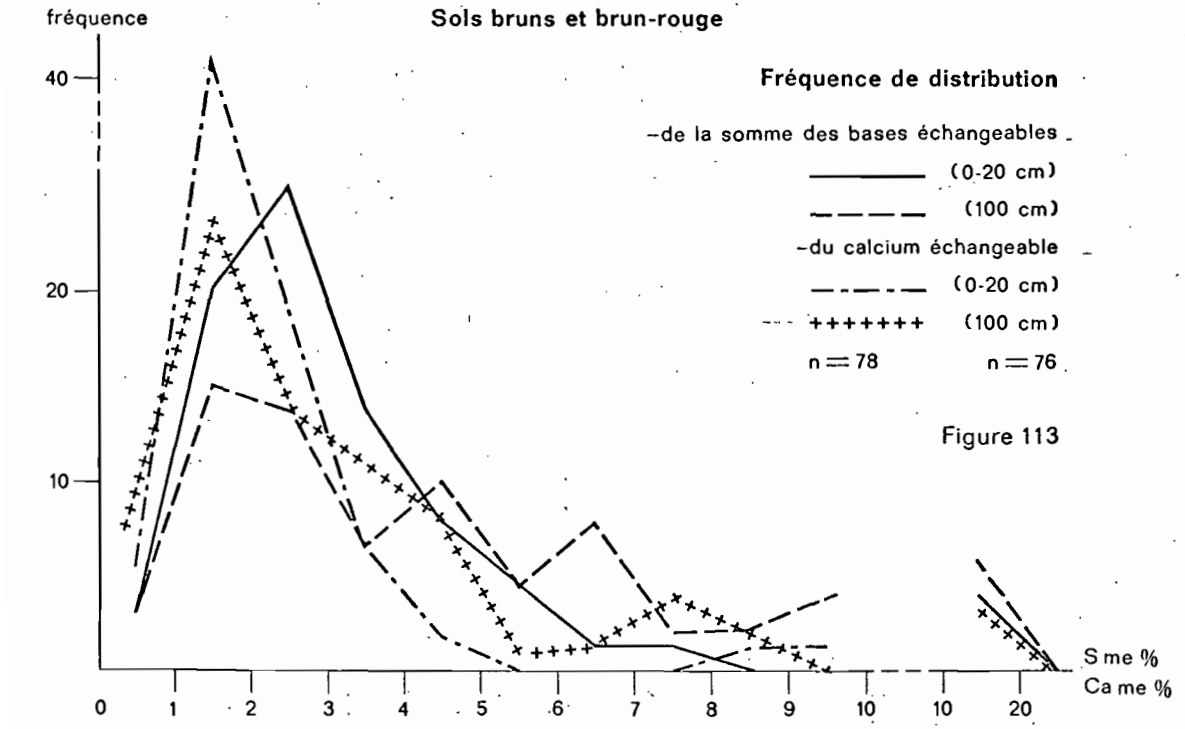


Figure 113

Sols bruns et brun-rouge

Fréquence de distribution du sodium échangeable

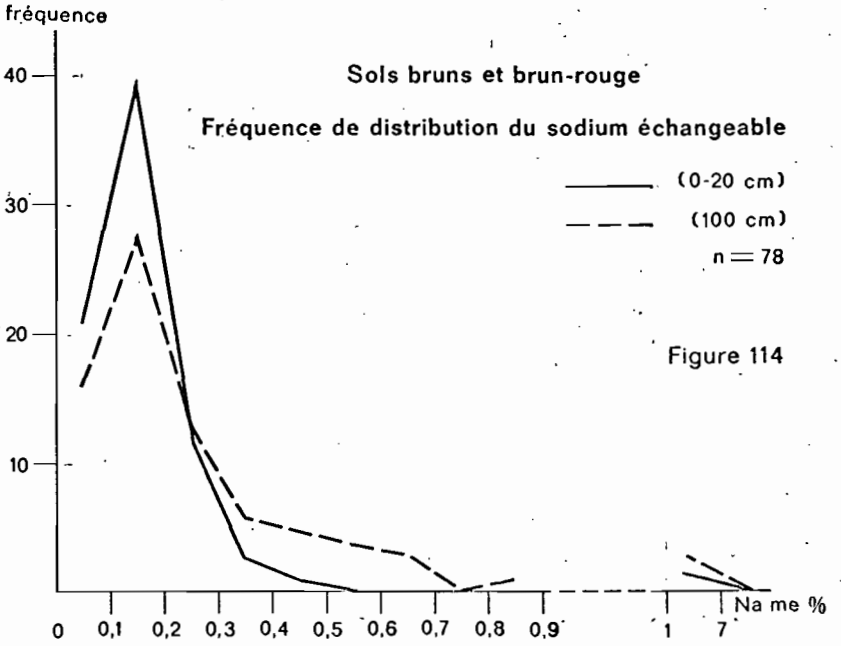


Figure 114

dans les horizons profonds de sols hydromorphes ou à tendance halomorphe (figure 114).

L'indice de saturation est ici plus élevé que dans la série précédente, aussi bien pour les sols bruns que pour les sols brun-rouge où la tendance est cependant moins nette. V est souvent compris entre 60 et 100% en surface, entre 80 et 100% en profondeur (figure 106).

L'analyse aux triacides sur la fraction argileuse, puisqu'il y a prédominance de quartz (90 à 95%) révèle des rapports Si 02/A12 03 très supérieurs à 2.

L'examen aux rayons X nous indique des variations entre les constituants minéraux suivant la région étudiée (figure 108).

- Second delta fossile du Chari

La montmorillonite domine (50 à 60%). Il s'y ajoute de la kaolinite (20 à 50%), de l'illite parfois (10 à 20%).

- Couloirs alluviaux des vallées de l'Est

Illite et kaolinite codominent (30 à 45% chacune) accompagnées de montmorillonite (15 à 25%).

- Accolements sableux aux massifs de l'Est

La kaolinite est dominante (60 à 70%) associée à de l'illite (10 à 15%), de la montmorillonite (10 à 15%), de la goethite.

On notera :

- que la fraction colloïdale des accolements sableux est très voisine de celle des sols brun-rouge de la série ancienne ;
- que la fraction inférieure à 2 μ du second delta est identique à celle des dunes du voisinage du lac Tchad (série ancienne remaniée Bol 26, Tchingam, FL 333) et à celle des sols du premier delta (triangle Miltou - Fort-Lamy - Bokoro).

Les taux de fer total sont importants (10 à 20%) dans la fraction argileuse, alors que la goethite n'apparaît pas ou rarement sur le spectre de diffraction aux rayons X. Ceci fait penser, vu les faibles quantités de Mg trouvées à l'analyse triacide à des montmorillonites ferrifères (nontronite) et peut-être aussi à la présence de produits ferrugineux amorphes.

Les variations des taux de fer total dans les échantillons de sol sont peu importantes à l'intérieur d'un même profil, tant dans les sols bruns que brun-rouge (figure 107).

Les sols de cette série vont entrer principalement dans la classe des sols isohumiques dont ils présentent les caractères morphologiques et analytiques.

Il va y avoir ici prédominance de sols bruns (profil A C de 100 cm environ - coloration 10 YR 4/2-6/4 en surface; 5/3-6,5/4 en profondeur

avec un sable blanc ou très clair comme roche mère). Les sols brun-rouge (profil A (B) C de 150 à 200 cm - coloration : 5 YR ou 7,5 YR 6/5, 6/6) seront plus rares, localisés dans les parties hautes (flancs de massifs, erg), tandis que les premiers sont dans des zones planes ou de légères dépressions mais, le plus souvent, bien drainées.

Ces sols se localisent dans les zones dont la pluviométrie se situe entre 500 et 200 mm. Les pluies sont réparties sur 3 à 4 mois.

Ils présentent des caractères identiques à ceux formés sur la série sableuse ancienne remaniée :

- texture très sableuse
- indice de lessivage compris entre 1 et 3
- léger "ventre" d'accumulation argileuse et parfois raies argileuses ou ferrugineuses
- structure fondue à tendance nuciforme ou même ici polyédrique plus ou moins bien développée (sols bruns)
- perméabilité faible en sol humide, élevée en sol sec
- pH sensiblement voisins légèrement plus acides en surface (sols brun-rouge), un peu plus neutres ou basiques en profondeur (sols bruns)
- rapport Si 02/A12 03 supérieur à 2
- fraction argileuse :
  - . à dominance de montmorillonite ferrifère (nontronite) associée à de l'illite et de la kaolinite (pourtour du lac actuel - anciens deltas);
  - . à dominance de kaolinite dans les sols brun-rouge de l'est tchadien;
- teneur en fer total faible.

Ils en diffèrent par :

- des taux de carbone un peu plus élevés (0,2 à 0,3%)
- des rapports C/N faibles (6 à 8 : sols brun-rouge) compris entre 8 et 12 (sols bruns)
- des valeurs de S plus élevées pour des taux d'argile sensiblement identiques. Chaque cation marque une augmentation
- un degré de saturation du complexe absorbant plus important, atteignant 80 à 100% dans les horizons profonds.

4. LES SOLS DE LA SERIE ALLUVIALE SUBACTUELLE A ACTUELLE

Ils occupent des surfaces sensiblement égales à celles de la série sableuse récente et ne constituent que des bourrelets d'étendues diverses, le long des grands fleuves, de leurs affluents ou défluents. On les observe ainsi le long du Logone où ils forment des élévations discontinues interrompues de trouées par lesquelles se déversent les eaux de débordement vers les plaines d'inondation. Le Chari, le Bahr Erguig, le Batha de Laïri, le Batha ... possèdent leurs propres bourrelets, larges parfois de plusieurs kilomètres ou à l'inverse atteignant à peine quelques dizaines de mètres. Le réseau de défluents particulièrement important en certaines régions (3ème delta fossile du Chari-Logone au nord de Fort-Lamy, delta intérieur du Bahr Erguig dans la fosse de Massénya ...) rend celles-ci très complexes car alternent alors une multitude de bourrelets surimplantés sur des dépôts lacustres.

Dans les plaines d'inondation du Logone, ces mêmes dépôts ont été épandus en nappe sur des surfaces restreintes dans les zones de passage des courants au milieu des plaines d'inondation (région du lac Boro, de Boumo, Djoumane, Deressia, Ninga, Darbé, Narégué ...).

Au nord du 13è parallèle et principalement dans l'est du Tchad, ces sols occupent des couloirs dépressionnaires larges parfois de plusieurs kilomètres qui serpentent au milieu des formations sableuses anciennes ou récentes et vont se perdre dans les sables sans atteindre le lac Tchad ou des lacs intérieurs qu'ils rejoignaient autrefois.

Les sols qui se sont formés sur ces dépôts vont, en fonction de leur âge et de leur position topographique, présenter une évolution pédologique plus ou moins accusée qui peut se traduire par la présence de :

- sols jeunes en position topographique haute où l'action de la nappe est peu marquée;
- sols jeunes, où cette même action conduit :
  - . à des caractères d'hydromorphie très accusés;
  - . à des caractères d'hydromorphie et d'halomorphie.

Nous décrirons un profil de chacun de ces types en soulignant la faible abondance des premiers, tandis que les troisième dominent plus généralement.

4.1. MORPHOLOGIE

Profil D 28 : sol jeune à faible action de nappe.

Localisation : 4 km d'Am Djelat (SW d'Am-Timan). 10°55 de latitude nord - 20°15 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 900 mm.

Topographie : relativement plane, bourrelet.

Erosion : nulle.

Drainage superficiel apparemment bon.

Végétation : champ de coton de belle venue. Repousses de Ziziphus mauritiaca, quelques Balanites aegyptiaca non détruits lors du défrichement.

0 - 35 cm : gris-brun (10 YR 4/2), argilo-limoneux, quelques fentes de retrait assez mal dessinées, polyédrique moyen à fin, compacité et cohésion moyennes, bon enracinement.

35 - 50 cm : beige (10 YR 7/3), limono-argileux, très peu structuré, cohésion et compacité faibles.

50 - 100 cm : beige, sablo-limoneux à nombreux micas, autres caractères identiques à l'horizon précédent.

Profil T 9 : sol jeune à caractères d'hydromorphie très accusés

Localisation : bordure du Bahr Salamat entre Bobo et Kodjo. 10°45 de latitude nord - 19°55 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 950 mm.

Topographie : bourrelet surplombant la vaste dépression du Bahr Azoum de 4 à 5 m.

Erosion : non visible ou très faible.

Drainage : correct à légèrement déficient.

Végétation : savane arborée claire à Anogeissus leiocarpus, Combretum glutinosum.

0 - 10 cm : gris à gris-brun (10 YR 4/2) sablo-limoneux, fondu à légère tendance cubique, porosité tubulaire faible, compacité moyenne, cohésion assez forte. Enracinement faible à moyen.

10 - 30 cm : brun (10 YR 4,5/3) à taches rouille, sablo-limoneux, polyédrique moyen à fin, plus fortes cohésion et compacité.

30 - 120 cm : beige (10 YR 6/4) jaunâtre, par marbrures nombreuses, sablo-limoneux passant progressivement à argilo-limoneux vers 70-80 cm. Identique à l'horizon précédent pour les autres caractères.

120-140 cm : beige-brun (10 YR 5,5/4), argilo-limoneux plus accusé que précédemment, mais autres caractéristiques identiques ou voisines.

Profil T 49 : sol jeune à caractères hydromorphes et halomorphes.

Localisation : voisinage de Fort-Lamy. 12°09 de latitude nord - 15°02 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 650 mm.

Topographie : bourrelet surplombant de plusieurs mètres (3 à 4 m) une dépression voisine où s'accumulent les eaux de pluie et de ruissellement.

Erosion : assez accusée, visible par places par la disparition de l'horizon superficiel du profil.

Drainage : déficient produisant l'érosion en nappe.

Végétation arbustive très clairsemée : Lannea humilis, Acacia seyal, tapis ras et discontinu de Schoenefeldia gracilis.

0 - 25 cm : gris-beige (10 YR 5,5/3), quelques points rouille et léger pseudo-mycelium blanchâtre à partir de 20 cm, sablo-argileux, polyédrique moyen à fin, compacité et cohésion fortes, enracinement très faible.

25 - 95 cm : gris-beige (10 YR 6/3 à 10 YR 6,5/3) très tacheté de rouille à amas calcaires blanchâtres petits et peu nombreux et quelques gravillons ferrugineux noirs, sablo-argileux mais plus argileux que ci-dessus, polyédrique fin, compacité et cohésion fortes.

95 - 180 cm : brunâtre ou gris à taches rouille fines et nombreuses (10 YR 6/2,5), argileux ennoyé dans des sables fins gris-beige, tachetés de rouille. Ensemble hétérogène, polyédrique assez grossier, cohésion et compacité très fortes.

180 - 200 cm : sable micacé (10 YR 7/3) à taches rouille et noires, massif, compact.

4.2. CARACTERES ANALYTIQUES DES PROFILS D 28 T 9 T 49

Tableaux XVII, XVIII, XIX

4.3. CARACTERES ANALYTIQUES GENERAUX

Le profil de sol jeune de type A C présente un horizon A humifère moyennement développé (20 à 40 cm) qui repose directement sur la roche mère; un limon micacé de couleur claire, où l'action de la nappe est non visible.

Le profil de sol à caractères d'hydromorphie très accusés est analogue à celui décrit lors de la série sableuse récente. On y retrouve :

A_{11} humifère, gris mais plus fortement structuré et à tendance cubique.

A_{12} de transition.

(B)g structural à pseudo-gley (polyédrique à marbrures et taches nombreuses).

(B)gC identique. Les augmentations des teneurs en argile et limon apparaissent comme un changement de texture du matériau originel et non comme le résultat de phénomènes de lessivages. C est non discernable. Il se confond avec le (B)g.

Le profil de sol à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie est proche également de celui donné parmi les exemples de la série sableuse récente (sol à taches, pseudo-mycelium et masses calcaires). On y voit les horizons suivants :

A_1 horizon humifère assez fortement structuré (polyédrique moyen à fin).

(B)gCa structural (polyédrique fin) à pseudo-gley et amas calcaires.

(B)gC hétérogène, précédant un changement net de matériau.

Des profils plus sableux de cette série vont présenter les mêmes caractéristiques morphologiques que celui de la série sableuse récente (présence d'un horizon structural à colonnettes avec parfois B_1 blanchi au sommet des colonnettes avec (B)gCa ou BgCa en profondeur et A_1 peu structuré en surface.

Dans cette série alluviale, les horizons de surface sont de texture variable, les taux d'argile sont compris entre 0 et 40%, tandis que ceux de limon oscillent entre 0 et 30%. En profondeur, les teneurs sont voisines, légèrement plus argileuses (0 à 50%) pour des taux de limon assez identiques (figure 115).

La répartition des pourcentages d'argile en fonction de la profondeur est de deux types principaux. Dans le premier, semble régner la plus

grande anarchie. Dans le deuxième, se perçoit une augmentation progressive ou brutale des taux d'argile, les teneurs peuvent devenir relativement constantes en profondeur ou changer s'il y a passage à un autre matériau. Les teneurs en limon dans le second cas sont relativement faibles.

En présence d'un horizon très superficiellement sableux, l'examen morphoscopique des sables et l'étude des minéraux lourds de celui-ci nous indiquent souvent que nous avons affaire à un même matériau que pour l'horizon sous-jacent, les courbes cumulatives ou de fréquence des sables sont notamment les mêmes. Ceci nous amène à conclure à un entraînement superficiel et oblique de l'argile dès que la perméabilité des horizons profonds ou de moyenne profondeur diminue, soit du fait de la texture très fine (argile ou limon), soit de phénomènes physico-chimiques (fixation de Na sur le complexe absorbant entraînant un changement de la structure du sol).

Il est donc difficile ici de parler d'indice de lessivage sauf pour les sols les plus sableux où vont alors se noter, là encore, plus des entraînements obliques que verticaux de l'argile. Cette dernière sort du profil et ne donne naissance à aucun horizon illuvial.

La coloration des sols de cette série varie de brun clair (10 YR 6/4) à brun foncé (10 YR 4/2) en surface avec parfois des tons plus gris. En profondeur, la coloration reste brune ou gris-brun plus ou moins foncé (10 YR 4,5/3, 5/4, 6/2 ...) ou passe à des gris-brun clair ou jaunâtre (2,5 Y 6,5/2, 7/4 ...). Cette couleur qui est celle du fond est souvent masquée par des taches ou marbrures rouille, jaunâtres, rougeâtres.

On note aussi des amas calcaires blancs à grisâtres, un pseudo-mycelium blanchâtre et des gravillons ferrugineux brun-rouille foncé à noirâtres. Certains profils peuvent présenter directement sous l'horizon A un horizon B_1 de quelques centimètres gris-blanc (10 YR 7/2, 8/3).

La structure des sols de cette série est très diverse :

- particulaire, fondue, polyédrique moyenne à fine, parfois à tendance cubique dans les horizons A;
- cubique ou en colonnettes sur une vingtaine de centimètres dans certains horizons B;
- polyédrique moyenne à fine dans les horizons (B)g, (B)g Ca.

La compacité et la cohésion plus faibles dans les profils de type AC sont très élevées à l'inverse dans ceux A (B)g Ca avec une augmentation en profondeur où les éléments structuraux ont un débit en petits polyèdres.

L'indice d'instabilité structurale est élevé, d'une façon générale supérieur à 2 en surface et profondeur, très fort notamment dans les sols à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie.

La perméabilité est très faible, le plus souvent inférieure à 1,5 cm/h, tant en sol mouillé (méthode Hénin) qu'en sol sec effectuée sur le terrain (méthode Muntz).

La porosité est faible quel que soit le type de sol, pratiquement nulle dans les horizons (B)g, (B)g Ca.

Les taux de carbone sont généralement inférieurs à 1% avec la fréquence la plus grande entre 0,25 et 0,50%.

La courbe de fréquence du rapport C/N est très étalée sur l'axe des abscisses compris surtout entre 6 et 15. Les sols à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie se situent principalement entre 6 et 9. Ils représentent 35% du total des exemples cités (figure 116).

Dans ces sols, les taux d'humification apparaissent assez élevés, parfois 35 à 50%. Il y a, ou légère dominance des acides humiques gris ou une répartition sensiblement égale entre ceux-ci, les acides fulviques et les acides humiques bruns et intermédiaires.

Le pH des horizons de surface est souvent compris entre 5 et 7, mais certains sols halomorphes ont des pH plus élevés (7 à 10). La courbe de fréquence de pH des horizons inférieurs présente un maximum entre 8 et 9 pour ces mêmes sols, tandis qu'elle se situe entre 5 et 8 pour les autres (figure 117). On assiste donc à un fort relèvement des pH dans le premier cas, tandis que dans le second, celui-ci est moins accusé.

La somme des bases échangeables prend des valeurs très diverses, en liaison avec la texture, le pH, le degré de saturation (figure 118). En surface, elle est comprise entre 0 et 25 me % avec la fréquence la plus grande entre 5 et 10 me %. En profondeur, la courbe est plus gaussienne avec un maximum situé entre 15 et 20 me %.

Les sols jeunes et les sols à caractères d'hydromorphie ont une courbe voisine, assez identique à la courbe générale pour les horizons de surface, tandis que pour les horizons profonds la fréquence maximum se situe entre 10 et 20 me %.

Les sols à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie se répartissent ainsi :

- en surface pour les sols superficiellement sableux, S est compris entre 0 et 10 me %, entre 10 et 25 dès que la texture devient plus lourde.
- en profondeur, où la texture est relativement homogène, la courbe est gaussienne avec un maximum entre 15 et 25 me %.

L'ion Ca est encore largement dominant dans les sols jeunes et les sols hydromorphes. Cette dominance va s'atténuer dans les sols à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie. En surface, dans les premiers, Ca est le plus souvent compris entre 5 et 10 me %; dans les seconds, la courbe est à 2 maxima, le premier accusé (0-5 me % : sol superficiellement sableux), le deuxième moins net (10-15 me % : sol limono-argileux, argilo-limoneux ... dès la surface). En profondeur, dans les premiers sols, maximum peu accusé entre 5 et 10 me %; dans les seconds, courbe gaussienne avec la fréquence la plus grande entre 10 et 15 me % (figure 118).

L'ion Mg est également très diversement distribué. En surface, la courbe de fréquence (courbe générale) est assymétrique avec un maximum entre 1 et 2 me %, très largement étalée ensuite sur l'axe des abscisses. En profondeur, le maximum se situe entre 2 et 3 me %, mais les valeurs sont, le plus souvent, comprises entre 0 et 5 me %. Les rapports Ca/Mg sont variables (1 à 10 et plus).

L'ion K a des courbes de fréquence assez voisines de celles de Ca, principalement en profondeur.

Sols de la série alluviale subactuelle à actuelle

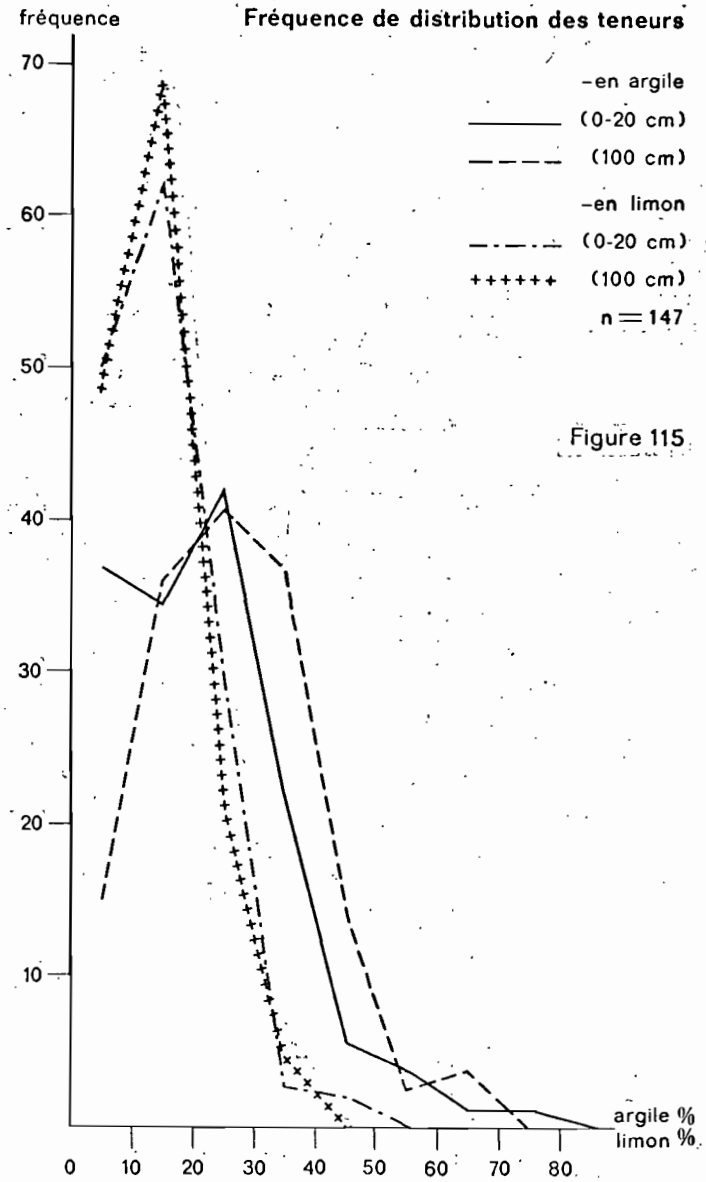


Figure 115

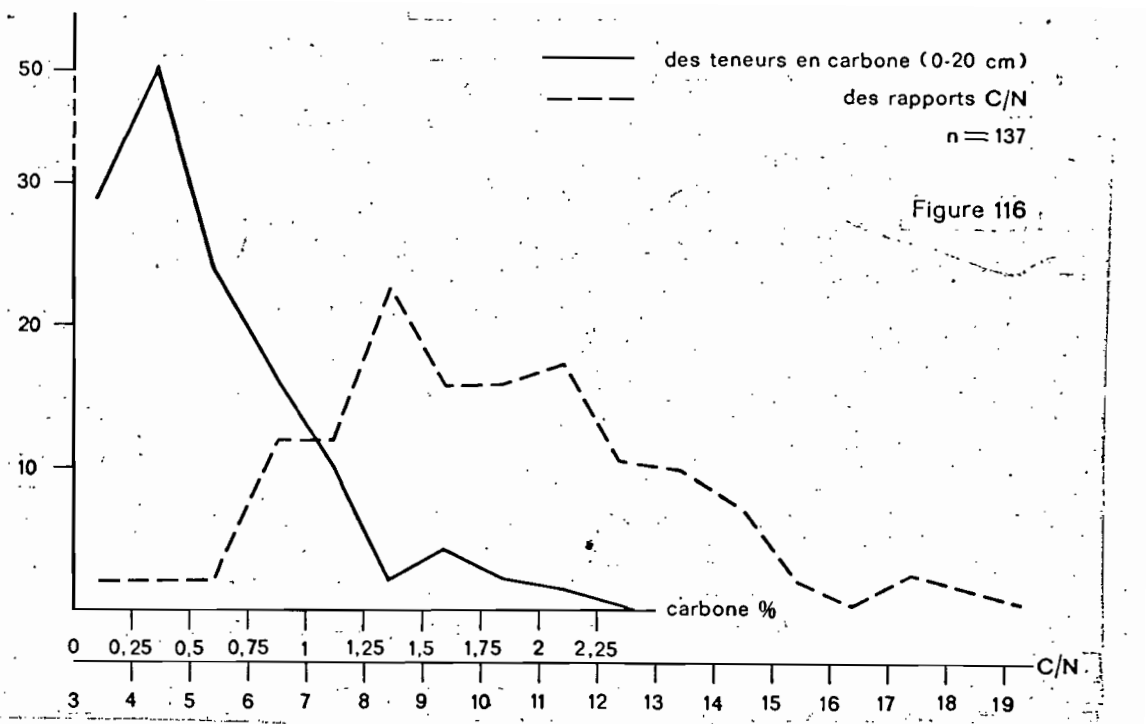


Figure 116

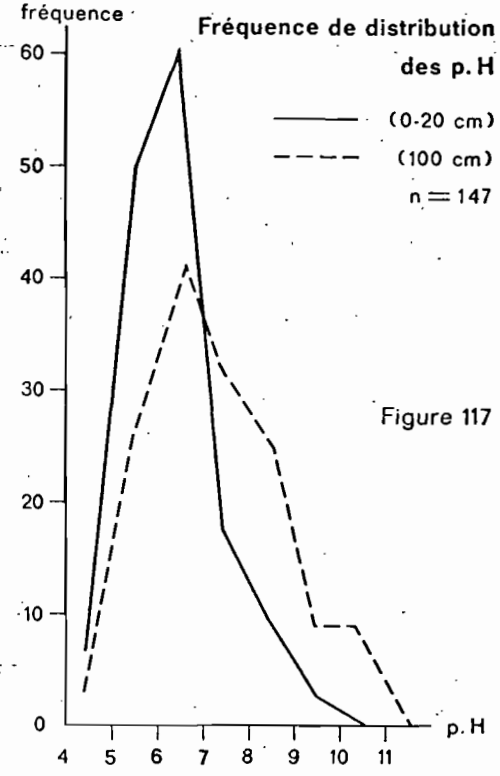


Figure 117

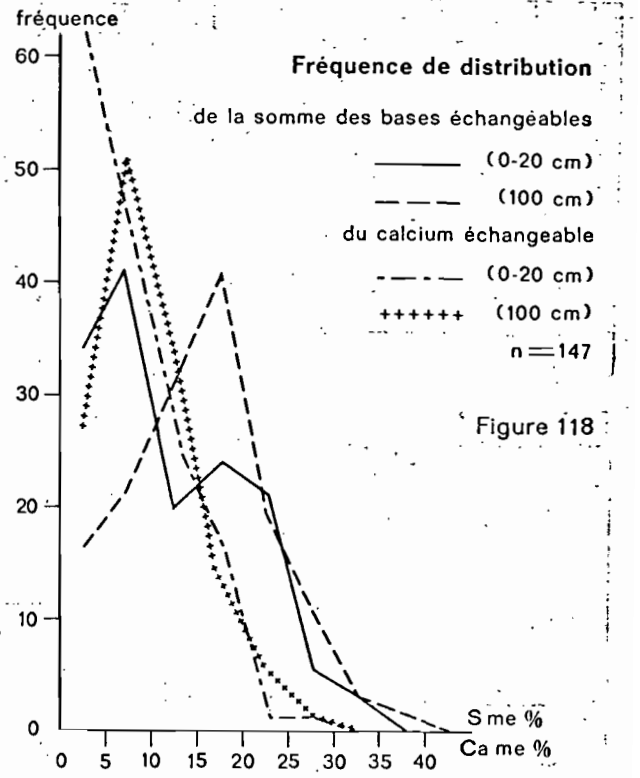
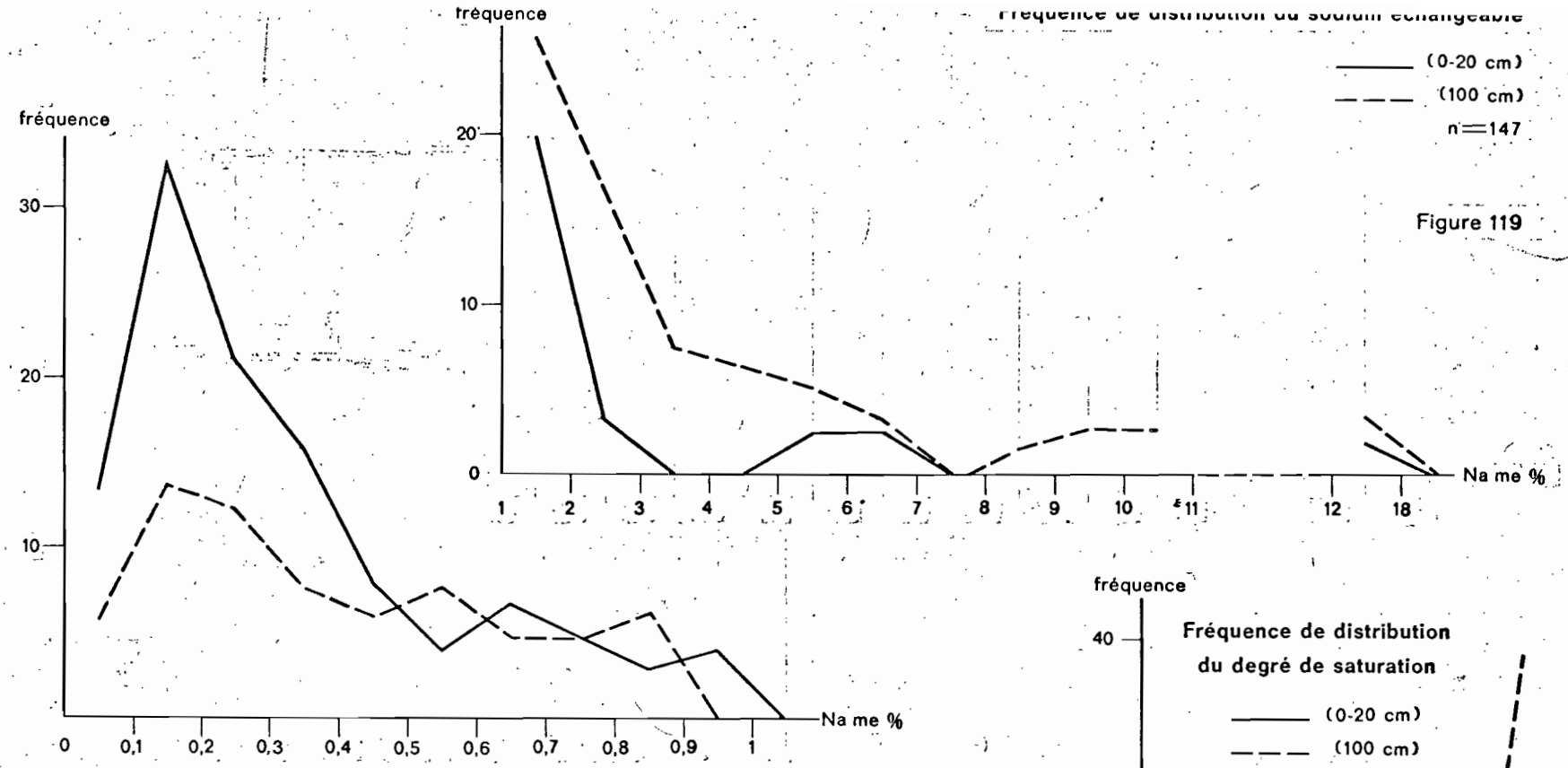


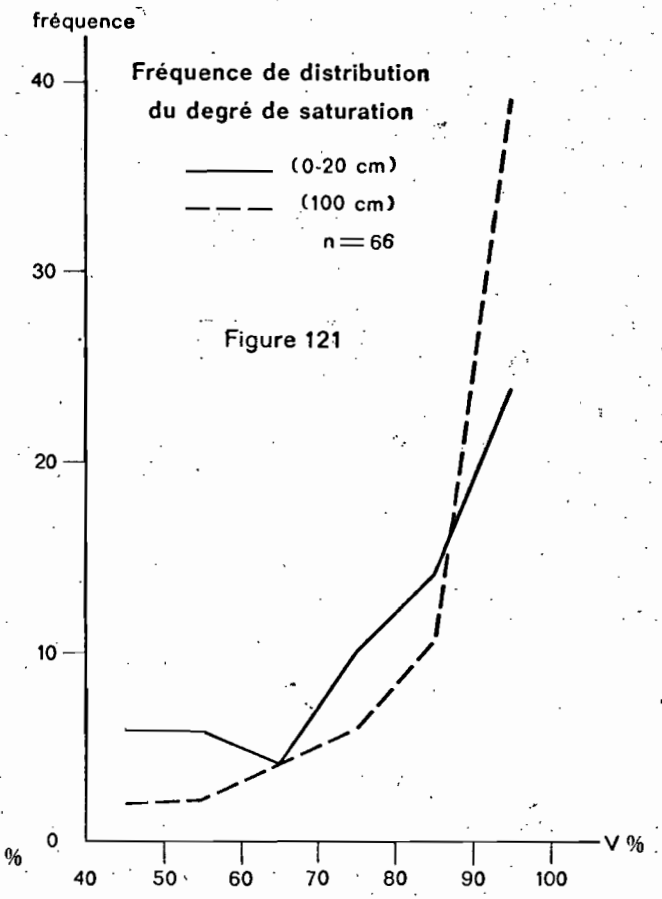
Figure 118



Fréquence de distribution du sodium échangeable

(0-20 cm)
(100 cm)
n = 147

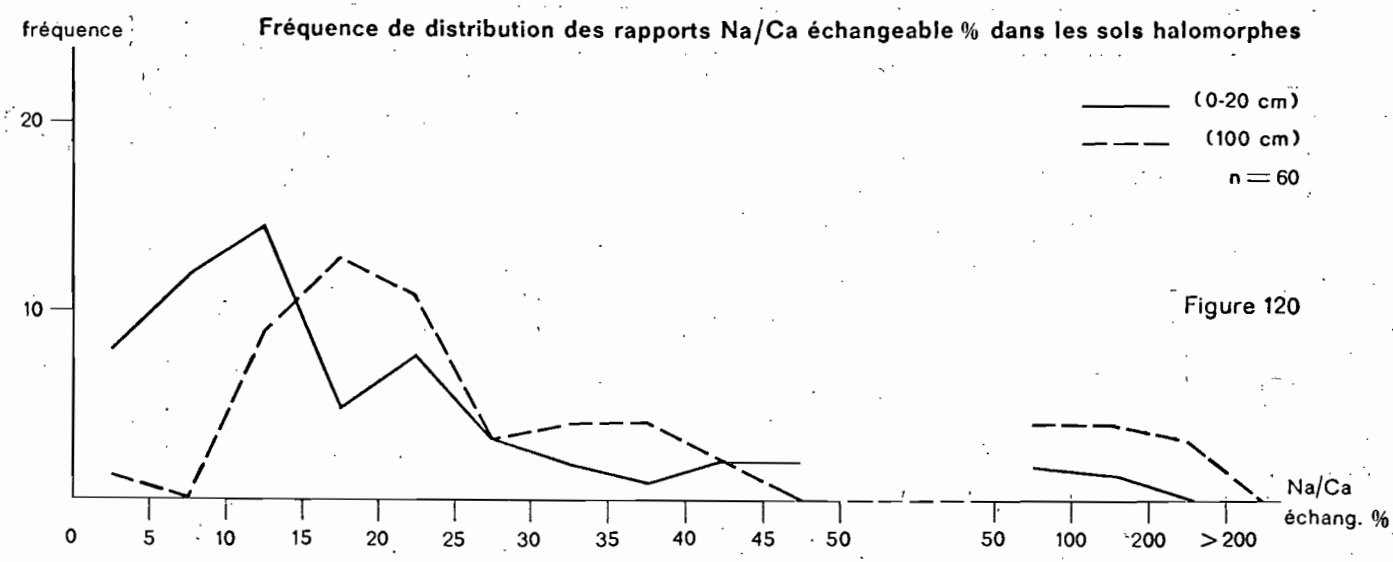
Figure 119



Fréquence de distribution du degré de saturation

(0-20 cm)
(100 cm)
n = 66

Figure 121



Fréquence de distribution des rapports Na/Ca échangeable % dans les sols halomorphes

(0-20 cm)
(100 cm)
n = 60

Figure 120

- En surface. Sols jeunes et sols à caractères d'hydromorphie : courbe gaussienne à un maximum entre 0,2 et 0,4 me %. Sols à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie : courbe à deux maxima : 0,2-0,3 me % et 0,5-0,6 me %.
- En profondeur, courbe gaussienne assez étalée avec une légère assymétrie dans les deux cas et un maximum de fréquence entre 0,2 et 0,3 me %.

On note, pour l'ion K, des valeurs pouvant atteindre 2 et 3 me %.

L'ion Na est particulièrement représenté dans cette série.

- En surface : parmi les sols du premier type, la courbe de fréquence assymétrique est étalée entre 0 et 2 me % (plus de 95% entre 0 et 1 me %) avec un maximum entre 0,1 et 0,2 me %. Parmi le second type de sol, il n'y a pas de dominance spéciale entre 0 et 1 me % (55% des échantillons). Au-dessus de 1 me % (45% des échantillons), la fréquence la plus élevée se situe entre 1 et 2 me %, avec des valeurs pouvant atteindre plus de 17 me %.
- En profondeur : parmi les sols du premier type, la courbe est très étalée entre 0 et 0,9 me % (80% environ) avec un léger maximum entre 0,1 et 0,3 me %. 20% des échantillons ont des valeurs comprises entre 1 et 6 me %, dont 15% entre 1 et 2 me %. Parmi les sols du deuxième type, peu ont des valeurs inférieures à 1 me % (5% environ). Celles-ci sont comprises entre 1 et 16 me % avec un maximum de fréquence entre 1 et 3 me % (50% environ). Figure 119.

Le rapport Na/Ca % dans les sols à caractères hydromorphes et halomorphes est toujours supérieur à 15, soit dès la surface, soit le plus souvent seulement en profondeur. En surface, la courbe de fréquence de ce rapport présente un maximum entre 0 et 15 et décroît rapidement ensuite. Il peut prendre exceptionnellement des valeurs très élevées. En profondeur, la courbe a son maximum entre 10 et 25. Ici aussi, il peut y avoir des valeurs très élevées (figure 120).

Dans ces mêmes sols, les sels solubles sont en relative abondance. La conductivité de l'extrait de saturation est le plus souvent inférieure à 4 millimhos (0 à 3 millimhos). Quelques valeurs sont supérieures cependant à ce chiffre (4 échantillons de surface et 3 de profondeur ont des valeurs entre 4 et 8 millimhos).

Parmi les sels solubles, Na est le plus abondant surtout en profondeur. On note également Ca et Mg, plus rarement K. Il s'agit de carbonate et bicarbonate, de sulfate, très rarement de chlorure seulement en traces.

Dans ces sols, le degré de saturation est très élevé, variant le plus souvent entre 70 et 100%. Les sols halomorphes sont pratiquement tous saturés dans leurs horizons de profondeur (figure 121).

L'analyse totale aux triacides de la fraction colloïdale ou de

l'échantillon global montre ici encore l'importance du quartz (1) - Tableau 55 en annexe. Des minéraux primaires non ou peu altérés sont également visibles; ce sont principalement des micas biotite qui constituent de véritables lits dans les sols jeunes.

Les rapports Si 02/A12 03 sont très supérieurs à 2.

La fraction colloïdale est formée de minéraux argileux en mélange où domine souvent la montmorillonite (40 à 60%) associée à de la kaolinite (20 à 40%), de l'illite (10 à 20%). Cette fraction peut contenir aussi un peu de goethite et de fine poussière de quartz (échantillon A 372). Dans le moyen Logone, les limons de certaines dépressions en couverture sur des argiles à nodules calcaires sont à kaolinite dominante, la montmorillonite est en quantité moindre et il y a peu d'illite (échantillon T 401), tandis que l'argile à nodules calcaires sous-jacente est constituée de kaolinite.

Le fer, ainsi que nous l'avons déjà signalé, apparaît comme constituant pour une part importante du réseau cristallin de l'argile (faibles teneurs en Mg; fraction élevée de minéraux à 14 Å observée aux rayons X). Il semble donc s'agir de nontronite.

Les rapports $\frac{\text{Fe2 03 libre}}{\text{Fe2 03 total}}$ % varient peu à l'intérieur des profils et sont souvent voisins de 50 . Les quantités de fer total augmentent avec la profondeur en même temps que s'élèvent les taux d'argile.

Les teneurs en éléments traces sont variables. Le manganèse est très fort et ceci pourrait faire craindre des phénomènes de toxicité pour des pH acides, ce qui est rarement le cas. Les éléments Zn, Rb, Ba sont également forts à très forts; Ni, Pb, V, Zn, Co, Cr moyens à assez forts; Cu, Sr, Li moyens. Mo, Sn sont faibles.

On notera que les teneurs en lithium sont ici plus élevées que dans les sols précédents, et que les valeurs du rubidium ont remonté en même temps que celles du strontium (tableau 56 en annexe).

Les sols de cette série se rattachent principalement à 3 classes.

- Les sols peu évolués (sols jeunes à faible action de nappe) à profil AC d'origine non climatique, qui se rangent dans le groupe des sols d'apport subdivisé en modal, hydromorphe à gley ou pseudo-gley, faiblement salé ou alcalisé.
- Les sols hydromorphes (sols jeunes à caractères d'hydromorphie très accusés) précédemment définis lors de la série sédimentaire sableuse récente. Ce sont des sols peu humifères souvent à pseudo-gley à taches et parfois concrétions. Il s'agit de sols à profil A (B)gC à (B) structural.
- Les sols halomorphes (sols jeunes à caractères accusés d'hydromorphie et d'halomorphie) également définis auparavant, à profil A Bg Ca C pouvant présenter un A_2B_1 appauvri en argile. L'horizon B peut posséder

(1) 9,06% sur 12,80 de résidu total dans la fraction colloïdale de l'échantillon A 372. Encore souvent 50% de l'échantillon total dans les types argilo-limoneux.

une structure cubique ou en colonnettes sur une vingtaine de centimètres et se subdiviser parfois en B_1 fortement blanchi, B_{2g} ou B_{2g} Ca.

Les sols de cette série sédimentaire entrent principalement dans la sous-classe des sols à structure dégradée et à alcalis et dans les groupes non lessivés ou lessivés; dans ce dernier cas, il s'agit de solonetz ou solonetz solodisé (présence de B_1 blanchi).

Nous ne reviendrons pas sur les principales caractéristiques de ces sols hydromorphes ou halomorphes précédemment données, ni sur celles des sols peu évolués assez analogues aux hydromorphes dont ils sont difficilement dissociables.

Les sols alluviaux constituent, nous l'avons dit, d'étroits bourrelets ou de petites dépressions au milieu de régions submergées lors de la crue. Ceci est à l'origine de leurs caractères hydromorphes, soit qu'ils subissent directement cette submersion ou que des engorgements se fassent par remontée du niveau de nappe phréatique. De celle-ci dépendent également des processus de salure ou d'alcalisation.

Ces derniers phénomènes sont de plus en plus intenses en remontant vers le Nord en même temps que les conditions d'aridité deviennent plus fortes. Déjà visibles sur les bourrelets du Chari et de ses affluents dans le sud du pays, au nord de Fort-Lamy, l'alcalisation gagne pratiquement toute la surface de ces mêmes bourrelets.

5.. SOLS DE LA SERIE FLUVIO-LACUSTRE DES "REGS"

Ces sols se localisent principalement sur les piedmonts du massif du Ouaddaï et remontent aussi jusqu'aux contreforts de l'Ennedi. Ils constituent là des étendues homogènes formant des taches de plusieurs milliers d'hectares chacune. On les retrouve sur le pourtour du massif central tchadien, mais alors de façon discontinue associés à d'autres types de sols. De même, ils vont s'observer autour d'inselberge granitiques ennoyés dans les terrains sédimentaires.

Ils se présentent généralement en surfaces planes ou de très faibles pentes, et sont fréquemment couverts par un abondant cailloutis quartzeux roulé. Le substratum proche de la surface perce celle-ci en très petits affleurements.

Ces sols sont tous très voisins morphologiquement et présentent des caractères d'hydromorphie assez accusés (taches rouille, marbrures) auxquels s'associent des phénomènes d'halomorphie.

5.1. MORPHOLOGIE

Profil Ma 55 : sol à caractères d'hydromorphie

Localisation : NW de Mangalmé. 12°45 de latitude nord - 19°30 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 500 à 550 mm.

Topographie : plane.

Erosion : superficielle en nappe.

Drainage déficient produisant l'érosion ci-dessus.

Végétation : très clairsemée : Acacia seyal, Balanites aegyptiaca; tapis graminéen de Schoenefeldia gracilis.

En surface, cailloutis quartzeux très irrégulier.

0 - 25 cm : gris-brun (10 YR 4/2), sableux, fondu à tendance polyédrique, compact, cohésion assez forte, porosité tubulaire moyennement développée.

25 - 50 cm : sans transition brun (10 YR 5/3), argilo-sableux, polyédrique moyen, très compact, forte cohésion, enracinement faible. Très légères fentes de retrait descendant jusqu'à 50 cm en simulant une structure en colonnettes mais peu développée.

50 - 140 cm : brun (10 YR 5,5/3) marbré de taches rouille et de parties décolorées blanchâtres, polyédrique moyen jusqu'à 110 cm, plus massif ensuite, très compact, forte cohésion, petits gravillons noirâtres peu abondants.

Profil Ma 87 : sol à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie.

Localisation : NE de Mangalmé. 12°40 de latitude nord - 19°55 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 500 mm.

Topographie : plane.

Erosion : superficielle en nappe se traduisant par des plages sableuses discontinues.

Drainage : déficient.

Végétation : identique à celle du profil précédent.

En surface, cailloutis quartzeux roulé par places.

0 - 2 cm : gris-noir (10 YR 4/1), sableux, fondu, peu compact, à faible cohésion, peu de racines, porosité tubulaire.

2 - 15 cm : gris-blanc (10 YR 6,5/1) sableux à sablo-argileux, à structure cubique tendant à former des colonnettes, compact à forte cohésion, porosité très développée et vésiculaire, enracinement faible.

15 - 35 cm : gris-brun (10 YR 6/2) à marbrures gris-clair et rouge jaunâtre, parfois gravillons ferrugineux noirâtres, argilo-sableux à structure identique en colonnettes, très forte cohésion et compacité, porosité faible à nulle, peu de racines.

35 - 120 cm : coloration identique à pseudo-mycelium blanchâtre et masses calcaires, argilo-sableux, polyédrique moyen, très compact, cohésion assez faible avec sous-structure polyédrique fine à moyenne. Enracinement très faible.

5.2. CARACTERES ANALYTIQUES DES PROFILS Ma 55 - Ma 87 - A 139

Tableaux XX, XXI

5.3. CARACTERES ANALYTIQUES GENERAUX

Ces sols, mis à part leur texture, sont assez voisins morphologiquement de certains décrits précédemment.

Dans le premier profil se distinguent les horizons suivants :

A_1 - A_2 humifère sableux appauvri en argile, à structure fondue.

B_1 textural (argilo-sableux) et structural, cubique avec début de formation de colonnettes.

B_2g identique à pseudo-gley plus ou moins accusé et structure polyédrique moyenne.

Dans le second profil nous trouvons :

A_1 - A_2 humifère, sableux, appauvri en argile, fondu.

B_1 textural (sablo-argileux), structural (colonnettes mieux marquées), de couleur (fortement blanchi), porosité vésiculaire.

B_2g textural (argilo-sableux), structural (colonnettes) à pseudo-gley.

B_2g Ca identique à pseudo-mycelium à structure polyédrique moyenne.

C est difficilement identifiable et se confond avec Bg ou Bg Ca.

Dans ces sols, l'horizon superficiel est parfois très sableux, de faible épaisseur, il peut être de quelques centimètres mais n'excède pas 10 à 20 cm. Il fait souvent défaut et sur le terrain s'observe alors en plages discontinues. Là où il est absent, il est remplacé par une pellicule squameuse noirâtre argileuse, argilo-limoneuse, résultat de dépôt de mares temporaires ou de flaques en saison des pluies. La surface du sol est alors parsemée de petits amas calcaires et gravillons noirâtres.

Les pourcentages d'argile, dans les horizons de surface, se répartissent en 2 groupements (0 à 20% - 25 à 40%) sans que la dominance de l'un ou de l'autre puisse donner une indication réelle des surfaces couvertes par chacun des types, vu la très grande disparité. En profondeur, les pourcentages d'argile sont mieux groupés, entre 20 et 40%, avec la fréquence la plus grande entre 30 et 35%.

La courbe de fréquence de l'indice de lessivage présente un maximum entre 1 et 2. Un nombre important de profils ont des taux d'argile légèrement supérieurs en surface à ceux de profondeur (indice de lessivage 0 à 1) dont une grande partie de sols halomorphes. Ils le doivent parfois à des dépôts qui se sédimentent en de multiples mares qui parsèment, en saison des pluies, ces surfaces imperméables (figure 122).

La variation des taux d'argile en fonction de la profondeur est donc de deux types (figure 123) :

1° - horizon supérieur sableux, très appauvri en argile;
- horizon inférieur argilo-sableux assez uniforme en pourcentage, avec parfois un léger "bec" d'accumulation en haut de cet horizon.

2° - horizons uniformément argilo-sableux avec des teneurs parfois légèrement plus élevées en surface.

Le lessivage dans l'horizon sableux superficiel peut être considéré comme oblique et le faible enrichissement en argile de la partie supérieure de l'horizon argilo-sableux dû à la circulation et au dépôt de l'argile en cours d'entraînement au contact du niveau très peu perméable. Ce niveau se marque parfois par un dépôt stratifié de fines lignes argileuses qui épousent la forme de l'horizon sous-jacent sans le pénétrer.

La coloration de ces sols est dans la gamme des 10 YR. Ils sont gris, gris-brun en surface (6/1, 5/2, 5/3, 4/2, 4/1), brun en profondeur (4/3, 4/2, 5/3) parfois gris-brun clair (2,5 Y 5,5/2, 6/2) avec des marbrures rouille ou rouge jaunâtre nombreuses, un pseudo-mycelium et des amas calcaires blanchâtres, de petits gravillons noirâtres. On note parfois au sommet de l'horizon B un niveau fortement blanchi (10 YR 7/1, 7/2).

La structure est variable suivant les horizons. Elle est dans les horizons :

$A_1 - A_2$ fondue parfois à tendance cubique. Cohésion et compacité assez élevées.

$A_2 - B_1$ cubique ou en colonnettes, parfois aussi polyédrique moyenne. Cohésion et compacité très fortes.

Bg - Bg Ca cubique ou en colonnettes dans la partie supérieure, puis polyédrique moyenne. Compacité très forte, cohésion relativement

faible avec sous-structure en fins polyèdres.

La porosité et l'enracinement sont très faibles, excepté dans les horizons de surface A_1 A_2 B_1. Dans ce dernier, la porosité de type vésiculaire est très développée.

L'indice d'instabilité structurale est élevé. IS est supérieur à 2 tant en surface qu'en profondeur où il peut atteindre des valeurs de 6 à 10. La structure est donc très mauvaise dans la majorité des cas.

La perméabilité, mesurée sur échantillons humides (méthode Hénin), est également très faible (K cm/h compris entre 0 et 1,5). Les perméabilités de terrain effectuées en sol sec (méthode Muntz) donnent des résultats comparables.

Ces observations sont valables aussi bien pour les sols à caractères d'hydromorphie que ceux à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie.

Les teneurs en carbone des horizons de surface sont faibles (70 à 75% des échantillons compris entre 0 et 0,4%). La courbe de fréquence des rapports C/N est très étalée, de 4 à 18, avec deux maxima entre 9 et 10 et 11 et 12 (figure 124).

Les teneurs en matière humique totale sont de même peu élevées. Acides humiques et acides fulviques sont sensiblement égaux avec une légère prédominance des premiers qui tendent à l'emporter plus nettement en profondeur.

Les pH sont le plus souvent compris en surface entre 6 et 8. On note cependant des chiffres plus bas, fréquemment dans les horizons sableux, mais aussi plus élevés si les phénomènes d'halomorphie sont importants et ceci surtout en profondeur (figure 125).

La somme des bases échangeables a des valeurs variables (figure 126)

- en surface, entre 0 et 20 me % avec un maximum entre 10 et 15 me %;
- en profondeur, entre 15 et 30 me % avec un maximum entre 15 et 20 me %.

L'ion Ca a des valeurs importantes. En surface, il est souvent compris entre 0 et 15 me % et en profondeur entre 5 et 15 me %. D'une façon générale, il y a augmentation de sa valeur de la surface vers la profondeur (figure 126).

L'ion Mg a des valeurs plus modestes et le rapport Ca/Mg parfois égal à 1 ou 2 peut atteindre 10. La majorité des échantillons est comprise entre 1 et 6 me %. Il y a généralement augmentation en profondeur.

L'ion K a des valeurs plus faibles. En surface, la fréquence la plus grande se situe entre 0,2 et 0,4 me %, tandis qu'en profondeur les valeurs sont surtout comprises entre 0 et 0,3 me %. Il y a une baisse de la valeur de cet ion avec la profondeur. Ceci est particulièrement visible pour les sols halomorphes où la fréquence la plus grande en profondeur est observée entre 0 et 0,2 me %.

L'ion Na prend des valeurs très variables, mais toujours plus élevées en profondeur qu'en surface. En surface, la majorité des échantillons est inférieure à 1 me %. En profondeur, 15% de ceux-ci seulement sont

inférieurs à cette valeur (figure 127).

Le rapport Na/Ca % est souvent supérieur à 15 (1), principalement dans les horizons de profondeur (figure 128).

Ces sols peuvent présenter des sels solubles, mais non en quantités très importantes. La valeur de la conductivité de l'extrait de saturation de la pâte de sol est le plus souvent comprise entre 0 et 1, parfois 2 à 3 millimhos, mais jamais au-dessus. Ces sels solubles sont principalement des sulfates, carbonates ou bicarbonates de sodium.

Le taux de saturation est élevé quel que soit le type de sol auquel on ait à faire, légèrement moindre en surface (le plus souvent entre 60 et 90%) qu'en profondeur où le complexe absorbant est pratiquement saturé (85 à 100 %).

Le rapport Si 02/Al2 03 dans ces sols est largement supérieur à 2.

La fraction colloïdale est constituée par de la montmorillonite (75 à 80%) dominante à laquelle s'ajoutent de la kaolinite (20 à 25%), parfois de l'illite. Ces deux dernières peuvent être plus importantes dans les horizons superficiels lorsque ceux-ci sont appauvris en argile.

Les valeurs de Mg relativement faibles à l'analyse totale laissent supposer la présence de minéraux argileux riches en fer. Il s'agit donc là encore de montmorillonite ferrifère (figure 129).

La teneur en fer total de ces sols augmente avec la profondeur et le taux d'argile. On note parfois une plus forte augmentation juste en dessous des horizons superficiels sableux. Elle correspond au "bec" d'accumulation argileuse qui peut se produire à ce niveau.

Les rapports fer libre/fer total % sont relativement constants, souvent voisins de 40 à 50.

Les sols formés sur cette série appartiennent aux classes des sols hydromorphes et des sols halomorphes sans qu'une différenciation bien tranchée puisse être faite autre que la détermination des rapports Na/Ca échangeables %, Na/T % alors que la morphologie du profil, le type de végétation qui se développe sur le sol, l'aspect superficiel du sol ... sont les mêmes dans les deux cas.

---

(1) Cette limite Na/Ca échangeables de 15 qui nous a servi pour départager les sols halomorphes à alcalis d'autre sols, apparaît très arbitraire dans plusieurs cas et notamment pour ces sols de "regs" dont certains vont présenter des caractères nets d'halomorphie (aspect général du terrain, végétation clairsemée aux espèces spécifiques, présence dans le profil de pseudo-mycelium , structure cubique ou en colonnettes ...) bien que possédant des rapports très inférieurs.

Sols de la série fluvio-lacustre des "regs"

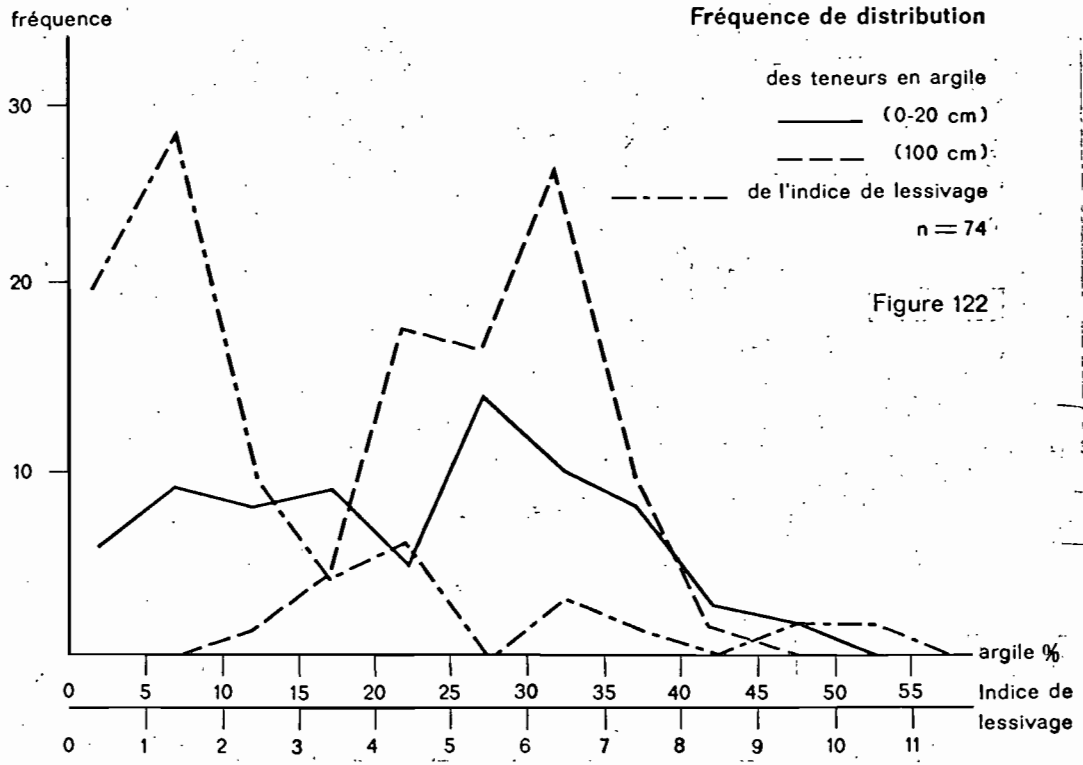


Figure 122

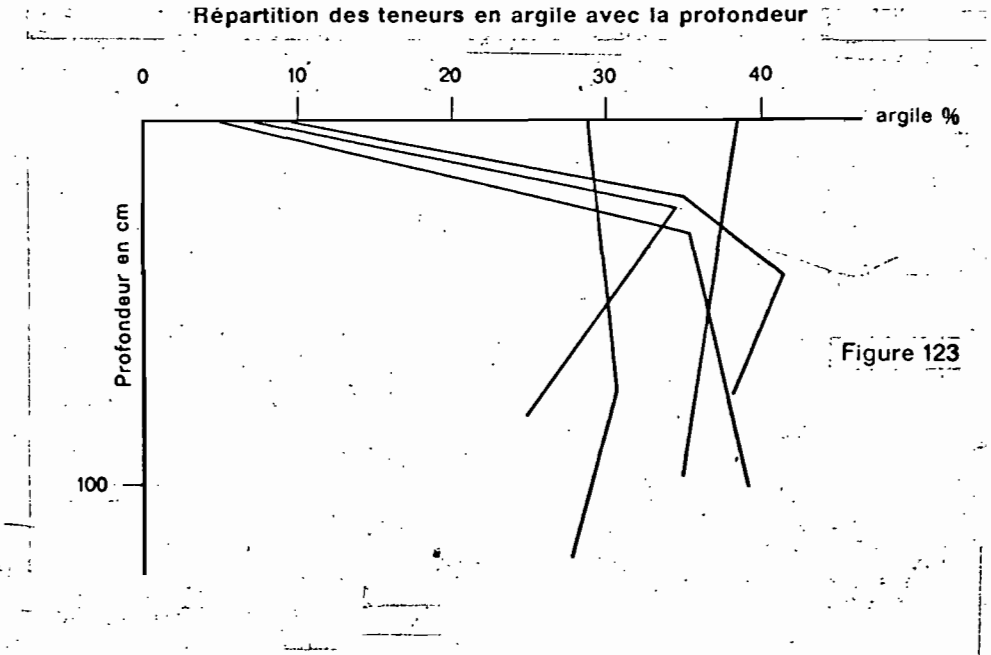


Figure 123

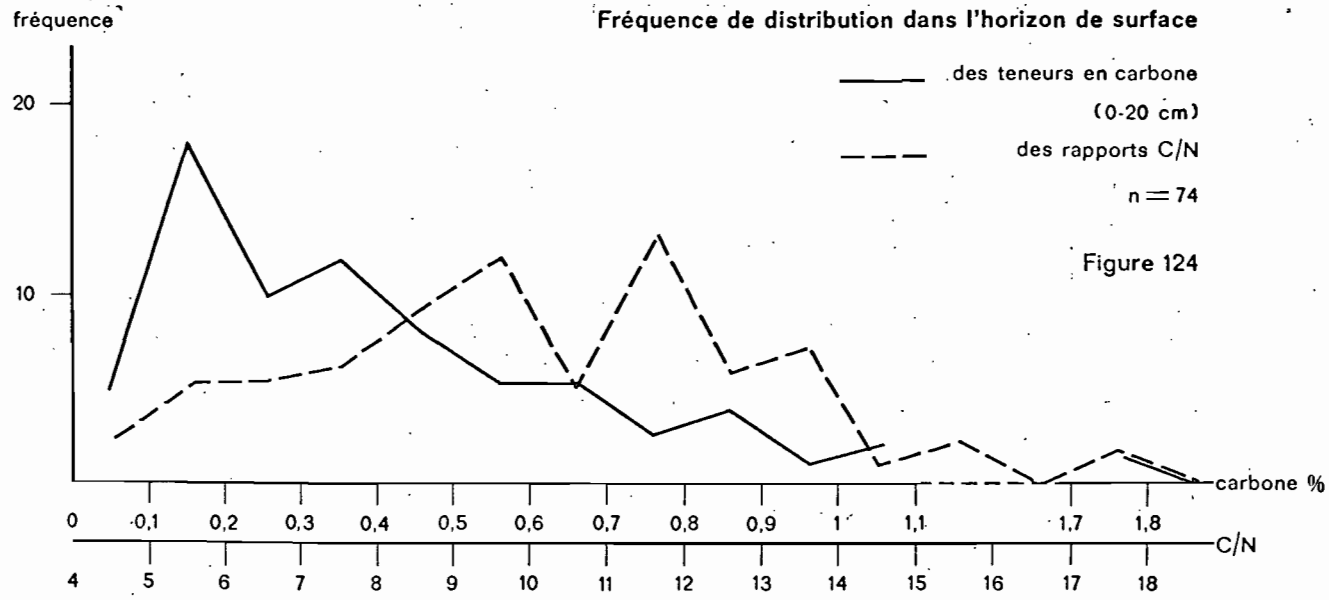


Figure 124

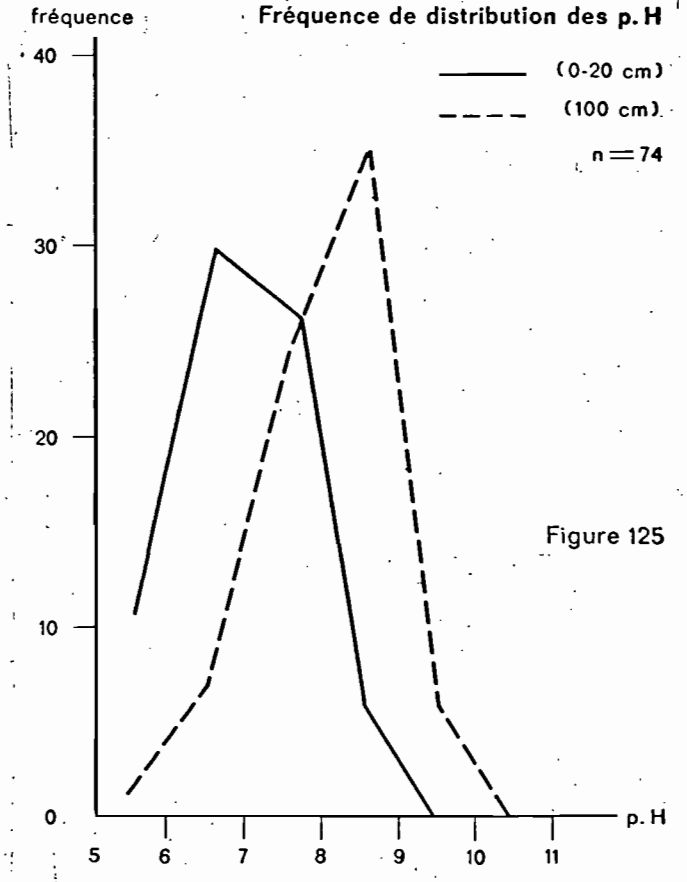


Figure 125

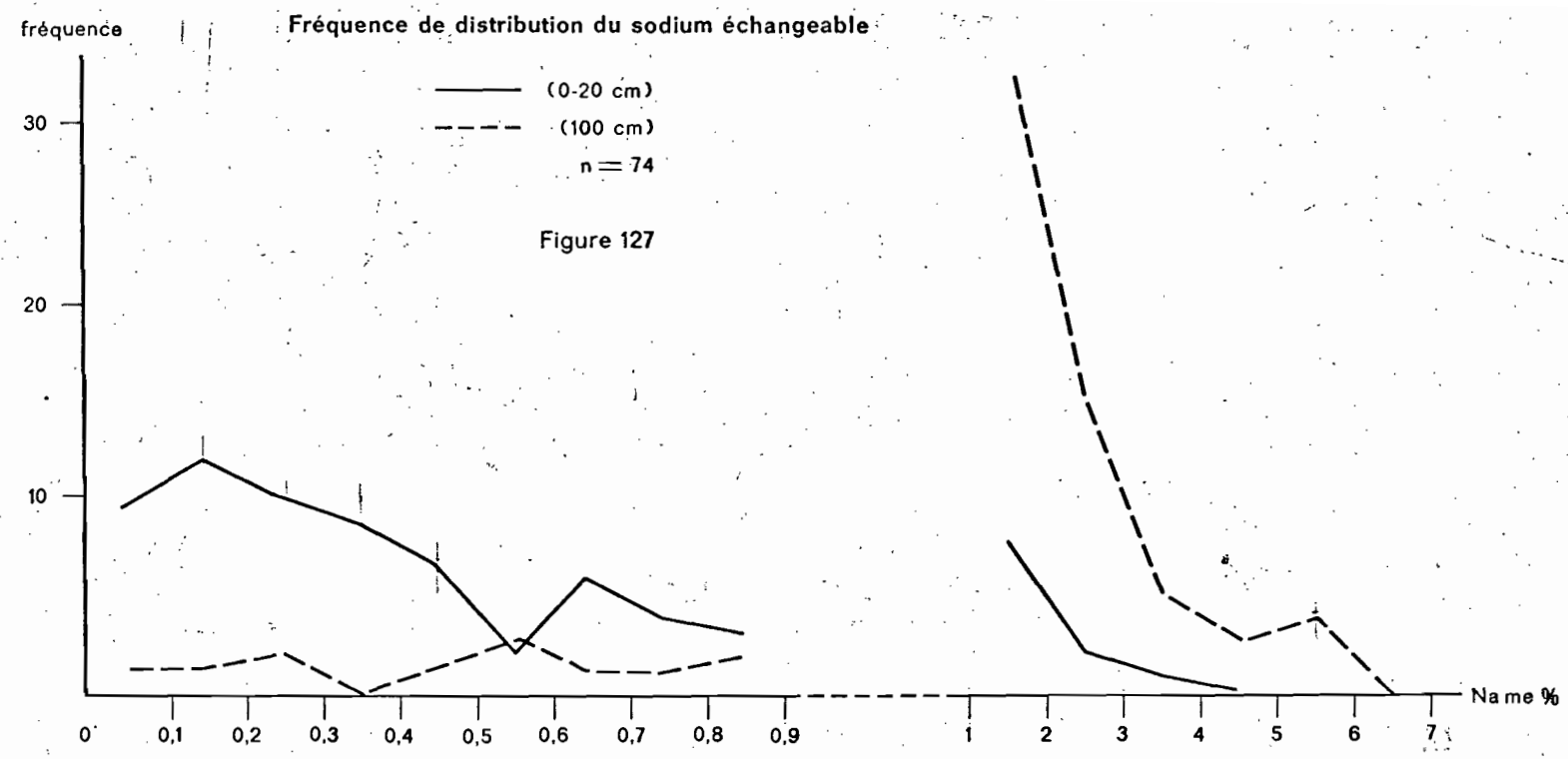


Figure 127

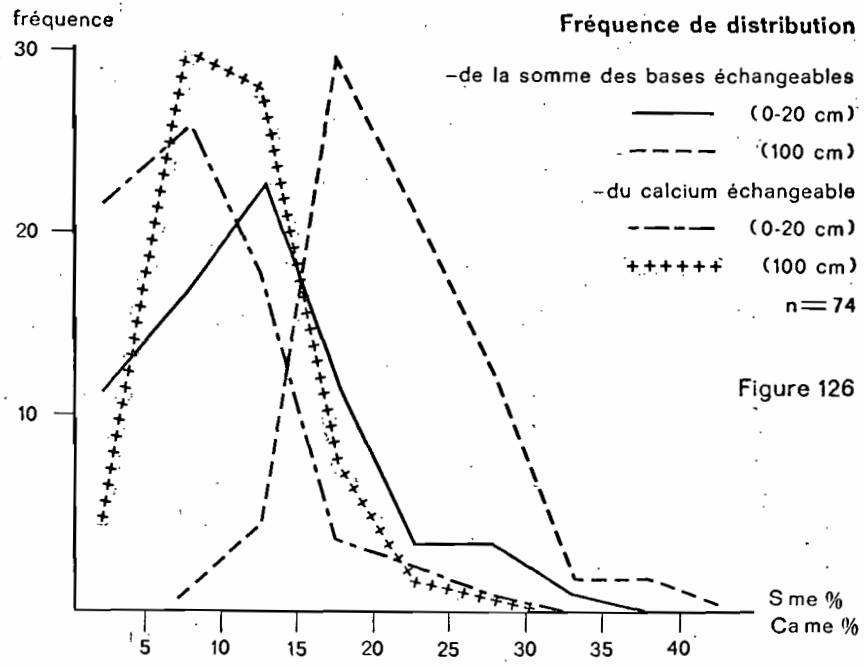


Figure 126

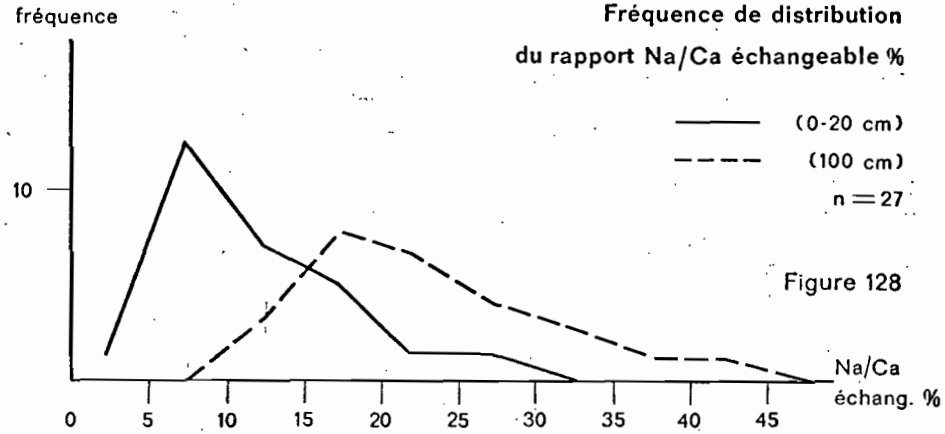


Figure 128

Il s'agit donc de sols à profil A Bg C ou A Bg Ca C, où peut se différencier un horizon A_2 B_1 appauvri en argile avec parfois B_1 de couleur très claire blanchie, à structure en colonnettes (B_1 - B_2g). L'horizon Bg à pseudo-gley est observé très près de la surface 20 à 40 cm. L'horizon Bg Ca est caractérisé par un pseudo-mycelium mi-salin mi-calcaire et des amas calcaires.

Ces sols possèdent une très mauvaise structure (IS élevée, perméabilité très faible à nulle). Ils sont superficiellement sableux, parfois sur 10 à 20 cm, ou bien, sous une fine pellicule sableuse de 2 à 3 cm, se voit l'horizon argilo-sableux relativement constant. L'horizon sableux apparaît comme le résultat d'un lessivage oblique très superficiel ou même d'une érosion hypodermique puisque cet horizon est susceptible de se déplacer, traduisant les phénomènes d'érosion en nappe bien connus sur ces sols.

La coloration de ces sols est gris-brun en surface, brun plus ou moins clair en profondeur, avec de nombreuses taches rouille, parfois petits gravillons noirâtres, amas calcaires blanchâtres.

Le sol fait rarement effervescence à l'acide. Les teneurs en CO3 Ca, mis à part les amas calcaires, sont faibles, en traces ou de quelques %.

Les teneurs en carbone sont peu élevées, les rapports C/N très divers.

Les pH de 6 à 8 en surface passent en profondeur à 8-9 et même 9,5.

Le complexe absorbant est saturé en profondeur. Les ions Ca et Mg dominent tandis que Na prend des valeurs élevées dans les horizons profonds et les rapports Na/Ca échangeables % peuvent être alors supérieurs à 15.

Les sels solubles sont en faibles quantités (carbonates, bicarbonates et sulfates de Na principalement).

La fraction colloïdale est constituée par de la montmorillonite dominante associée à de la kaolinite.

Les sols hydromorphes se rangent dans la sous-classe des sols hydromorphes minéraux.

- groupe : à pseudo-gley
  sous-groupe : à taches et parfois concrétions ferrugineuses
  intergrade : vers les sols halomorphes.

- groupe : à redistribution du calcaire
  sous-groupe : à pseudo-mycelium et amas calcaires
  intergrade : vers les sols halomorphes.

Les sols halomorphes se placent dans la sous-classe des sols halomorphes à structure dégradée.

- groupe : "lessivé"(1) à alcalis
  sous-groupe :
  . structure en colonnettes, solonetz;
  . structure en colonnettes avec horizon A_2B_1 blanchi, solonetz solodisé;
  . structure massive ou polyédrique moyenne à grossière.

(1) Il semble préférable de dire : "appauvri superficiellement en argile, et à alcalis".

6. SOLS DE LA SERIE FLUVIO-LACUSTRE ARGILO-SABLEUSE A NODULES CALCAIRES

Ces sols s'observent en 3 régions distinctes situées à l'arrière du grand cordon sableux Sud Bongor - Koro Toro :

- dans la région du moyen Logone de part et d'autre de ce fleuve("zone de capture" d'Eré sur la rive gauche, plaine d'inondation entre Laï Bongor et le Chari sur la rive droite);
- dans la dépression des bahrs Aouk, Keïta, Salamat sur la rive droite du Chari;
- sur le pourtour du massif central tchadien où ils forment des indentations au milieu des cuirasses ferrugineuses qu'ils morcellent en taches nombreuses.

Dans les deux premières régions, ces sols sont recoupés par les alignements sableux de la série fluviatile récente qui constituent des buttes exondées où sont installés les villages.

Ces terres sont généralement inondées en saison des pluies par la crue des fleuves et recouvertes sous une lame d'eau de 20 cm à 1 m. Des courants faibles freinés par un couvert graminéen très dense de hautes Andropogonées conduisent ces eaux vers des exutoires naturels :

- eaux de la rive gauche du Logone en direction du Lac Boro et des lacs Toubouris par la vallée de la Loka et de la Kabia;
- eaux de la rive droite de ce même fleuve s'écoulant en direction SN vers le Ba-Illi;
- eaux de la dépression de la rive droite du Chari, issues principalement du Bahr Azoum et s'écoulant NE - SW en direction du Chari;
- eaux descendant en éventail par les multiples cours d'eau nés dans le massif central tchadien.

Ces eaux vont stagner dans les dépressions de juillet-août (premières inondations dues aux eaux de pluies) à octobre-décembre avec un maximum au moment de la crue des fleuves (septembre-octobre-novembre).

Ces sols présentent un microrelief accusé. Nous citerons ici ce que nous avons eu l'occasion de dire dans un précédent ouvrage à ce sujet.

"Des effondrements se forment très souvent sous les pieds du voyageur ou des animaux qui s'enfoncent à mi-jambe. Le bloc tombe d'une pièce et se retrouve entier ou légèrement disloqué au fond du trou. Ces excavations semblent pouvoir s'expliquer par l'entraînement mécanique de l'argile dispersée le long des fentes de retrait. Dès les premières pluies, avant que le terrain ne soit encore gorgé d'eau, les précipitations pénètrent par les fissures du sol et une circulation souterraine s'installe, souvent favorisée par la pente plus ou moins forte. Il se produit, en profondeur, une érosion du flanc des fentes de retrait, tandis que les éléments colloïdaux dispersés migrent avec les eaux. Il en résulte des excavations en forme d'entonnoirs renversés. La surface demeure en place, mais cèdera à la moindre pression. Une fois l'effondrement formé, l'érosion s'installe sur la butte du microrelief, entraînant vers les excavations voisines l'horizon supérieur humifère mettant à nu l'horizon sous-jacent jaunâtre à nodules calcaires. A ce stade ultime, on a la succession de dépressions et de buttes recouvertes de nodules calcaires. On observe sur le terrain les différents stades d'évolution et de formation de ces effondrements".

Un cailloutis identique à celui observé sur la surface des "regs" parsème, par places, le sol. Quartzeux, roulé, superficiellement rubéfié, il évoque une phase de transport brutal postérieure au dépôt des argiles et sans doute contemporaine du début de la période de mise en place de la série sableuse récente.

Des dépôts peu épais de la série alluviale actuelle à subactuelle recouvrent aussi par taches discontinues de faible étendue les sols argilo-sableux.

Ces surfaces sont couvertes par une prairie graminéenne de hautes herbes (1 à 2 m) où les arbres ou arbustes sont rares, souvent réfugiés sur la bordure de tertres exondés (buttes sableuses, termitières ...).

Ces sols sont d'une grande homogénéité, mais présentent cependant des variantes qui tiennent :

- à la présence d'un horizon superficiel finement structuré;
- à des phénomènes de ségrégation des hydroxydes quelquefois nettement visibles dans l'ensemble du profil;
- à leur présence parfois en élévation légère (butte surplombant de quelques mètres la plaine d'inondation) qui se traduit en surface par un horizon appauvri en argile;
- à des dépôts plus récents venus se superposer au sol initial (sable ou limons des séries fluviatile récente ou alluviale actuelle à subactuelle).

6.1. MORPHOLOGIE

Nous donnerons ici deux profils de ces sols :

- un, largement structuré dès la surface, où se perçoivent des traces de ségrégation du fer;
- un second, finement structuré sur 10 à 30 cm.

Les sols de buttes très voisins de ceux des "regs" et à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie ne seront pas décrits. Nous renvoyons au paragraphe précédent.

Profil T 41 : sol largement structuré dès la surface.

Localisation : SE d'Eré. 9°40 de latitude nord - 15°50 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 1000 mm.

Topographie plane à microrelief assez accusé, atténué par une légère couverture limoneuse, avec effondrements par places et nodules calcaires sur les monticules.

Végétation : prairie graminéenne à Hyparrhenia rufa avec arbres clairsemés : Terminalia macroptera, Combretum glutinosum, Mitragyna africana.

Inondé sous 100 à 120 cm en période de crue du Logone.

0 - 20 cm : brun-noir (10 YR 4,5/4) à petites taches jaunes et rouille nombreuses le long des racines des graminées, très petits gravillons ferrugineux noirs, argilo-sableux, polyédrique moyen, peu compact, cohésion assez forte, porosité tubulaire et d'agrégats.

20 - 140 cm : brun-olive clair (2,5 Y 5,5/4) argilo-sableux, nombreux nodules calcaires de formes arrondies, ovoïdes ..., blanchâtres à pellicule rouille par places; également gravillons ferrugineux noirs; prismatique à prismatico-polyédrique; fortes cohésion et compacité; peu de racines. Fentes de retrait descendant jusqu'à 100-120 cm.

140 - 260 cm : jaune (2,5 Y 7/4) devenant de plus en plus argileux en profondeur. Identique à l'horizon précédent, humide et plastique à partir de 200 cm.

260 - 360 cm : gris de gley (5 Y 7/1) et jaune rouille, argileux humide plastique.

Profil T 6 : sol à début de structuration fine en surface.

Localisation : cuvette à l'est du Chari (Koubo Abou Gara). 10°40 de latitude nord - 20°44 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 900 mm.

Topographie plane à microrelief très atténué par la culture (champ de sorgho).

Végétation : repousses de Bauhinia reticulata, Acacia seyal, Combretum glutinosum ...

Inondé sous 40 à 60 cm d'eau en saison des pluies. Très nombreux nodules calcaires en surface et quartz roulés.

0 - 20 cm : gris-brun foncé (2,5 Y 4/2) argileux, polyédrique fin à tendance nuciforme, peu compact, cohésion moyenne, porosité d'agrégat et tubulaire, nodules calcaires assez abondants. Cet horizon est d'épaisseur variable pouvant atteindre 30 à 40 cm ou bien inexistant ou très faible.

20 - 40 cm : brun -olive (2,5 Y 4,5/4) argileux, prismatique à prismatico-polyédrique grossier, compact à cohésion de plus en plus forte, nodules calcaires très disséminés.

40 - 200 cm : brun-olive (2,5 Y 4,5/4), quelques marbrures rouille d'hydromorphie, identique à l'horizon précédent, mais légèrement humide, surfaces bosselées de glissement sur les gros éléments structuraux. Nodules calcaires plus abondants en profondeur.

200 - 350 cm : brun-olive clair (2,5 Y 5,5/4) argileux, très humide, à marbrures d'hydromorphie nombreuses, passant à un pseudo-gley, plastique, peu de nodules calcaires.

6.2. CARACTERES ANALYTIQUES DES PROFILS T 6 - T 41

- Tableaux XXII, XXIII

6.3. CARACTERES ANALYTIQUES GENERAUX

Ces sols ont un profil de type A (B) C avec :

A humifère faiblement développé, gris-brun argilo-sableux à argileux, à structure grossière (polyédrique ou prismatique) ou très fine (polyédrique à nuciforme).

(B) de couleur brun-olive argilo-sableux à argileux, à structure grossière (prismatique ou prismatico-polyédrique). On passe en profondeur vers 150 à 250 cm à un horizon Bg qui marque le début de C avec lequel il se confond.

La présence de nodules calcaires est constante. Ils sont en plus ou moins grande abondance, plus abondants sur les buttes du microrelief "gilgaï" où l'horizon A peut faire défaut, tandis qu'à l'inverse il est plus épais et de couleur plus foncée dans les dépressions de ce microrelief. L'horizon A peut être marqué par une légère hydromorphie qui se développe au niveau des racines sous forme de points ou taches rouille et jaunes.

L'horizon (B) présente, sur les faces de certains éléments structuraux des surfaces bosselées, striées, luisantes qui sont la manifestation de mouvement du sol au cours de dessiccations ou réhumectations successives.

Les fentes de retrait dans ces sols descendent souvent jusqu'à 120-150 cm.

Les sols des buttes exondées au milieu des dépressions ont des profils différents analogues à ceux décrits dans la série des "regs", c'est-à-dire de type A Bg C, A Bg Ca C.

Ces sols sont uniformément argilo-sableux à argileux. En surface, le pourcentage d'argile est plus fréquent, entre 35 et 50%. On note des taux plus élevés (45 à 60%), mais aussi moins forts, notamment dans les sols des buttes exondées (0 à 25 %). En profondeur, la plus grande fréquence est observée également entre 35 et 50% (figure 130).

L'indice de lessivage est le plus souvent compris entre 1 et 2, à l'exception des sols des buttes où il est plus élevé et peut atteindre 7. Certains profils ont des taux d'argile très légèrement supérieurs en surface (indice compris entre 0 et 1).

La coloration de ces sols se tient dans la gamme des 10 YR ou 2,5 Y dans les horizons de surface qui sont gris-brun foncé ou brun-olive; elle est dans celle des 2,5 Y (brun-olive plus ou moins clair) en profondeur où elle peut être aussi jaunâtre. La coloration des sols des buttes est identique à celle des sols de "regs".

La structure est :

- polyédrique fine à nuciforme ou bien prismatique ou polyédrique dans l'horizon A;
- prismatique ou prismatico-polyédrique en (B) ou bien cubique tendant à donner des colonnettes (sols des buttes).

Les sols à structuration fine en surface sont très peu représentés.

La compacité et la cohésion sont fortes dans les horizons à large structuration où la porosité est peu développée et souvent tubulaire.

L'enracinement est peu accentué, sauf dans l'horizon supérieur; en profondeur, les racines tendent à utiliser les fentes de retrait ou les vides de la macro-structure pour se diriger.

L'indice d'instabilité structurale est élevé, le plus souvent supérieur à 2. La structure est mauvaise (Is entre 1 et 2) à très mauvaise (Is > 2).

La perméabilité en sol humide (méthode de Hénin) est faible (K cm/h : 1,5 à 4), à très faible (K cm/h : 0 à 1,5). Les chiffres obtenus en sol sec (méthode de Muntz) apportent des conclusions analogues.

Les teneurs en carbone dans les horizons de surface sont, le plus souvent, comprises entre 0,3 et 0,6%, tandis que les rapports C/N varient surtout entre 10 et 14 avec un maximum entre 11 et 12. Les sols de buttes exondées ont les rapports les plus bas (figure 131).

Dès qu'un apport alluvial limono-argileux, argilo-limoneux vient recouvrir ces sols, en atténuant le microrelief ou en le faisant disparaître totalement, les taux de carbone se relèvent fortement.

Le pH est surtout compris (figure 132) :

- pour les horizons de surface, entre 5 et 8 avec un maximum entre 6 et 7;
- pour les horizons de profondeur, entre 6 et 9 avec un maximum entre 7 et 8.

Les pH de surface les plus bas correspondent généralement aux sols possédant un faible recouvrement alluvial; ils se relèvent également en profondeur, mais dépassent alors plus rarement la neutralité. Ces pH varient en même temps en fonction du microrelief, les chiffres les plus élevés se situent sur les buttes de celui-ci.

Les sols constituant des élévations de terrain (buttes exondées) ont des pH légèrement plus forts, principalement en profondeur (maximum entre 8 et 9, parfois 10).

S a des valeurs comprises (figure 133) :

- en surface, entre 15 et 30 me % si l'on excepte les sols de buttes exondées superficiellement plus sableux où S est moins élevée;
- en profondeur, entre 15 et 30 me % également, mais plus de 10% des échantillons ont des valeurs entre 30 et 40 me % pour à peine 2% en surface.

Ca a des valeurs élevées surtout comprises entre 5 et 25 me %. Il représente 60 à 80% de la valeur de S. On note généralement une augmentation des taux de Ca avec la profondeur (figure 133).

Mg a des valeurs plus modestes. La courbe de fréquence très étalée sur l'axe des abscisses présente un maximum entre 3 et 4 me % en surface, entre 2 et 3 me % en profondeur. Les sols des buttes exondées ont un maximum situé entre 1 et 2 me % en surface, également entre 2 et 3 me % en profondeur. Les rapports Ca/Mg sont variables (1,5 - 2 à 8 et parfois 10).

K est le plus souvent compris entre 0,2 et 0,3 me %. Les sols des buttes ne présentent pas de maximum particulier, mais on y observe les valeurs les plus élevées enregistrées (1 à 3 me %).

Na en surface a des valeurs assez faibles, 0,1 à 0,5 me % (à l'exception de certains sols de buttes); en profondeur, 60% de ces sols ont des valeurs comprises entre 0 et 1 me %, 25% entre 1 et 2 me %. 15% sont supérieurs à 2 me % (sols de buttes). Certains de ceux-ci peuvent atteindre exceptionnellement 20 me %. Dans ce dernier cas, le chiffre de Ca tombe de 10,9 me % pour 1,8 me % de Na en surface à 4,1 me %. Il se produit là des phénomènes de remplacement sur lesquels nous reviendrons (figure 134).

Les sols des buttes exondées présentent des rapports Na/Ca échangeables % supérieurs à 15, notamment dans leurs horizons de profondeur. Parmi les autres sols, deux seulement présentent ce caractère. Ils sont par ailleurs situés dans l'est du Tchad sur les piedmonts du massif du Ouaddaï et sont associés aux surfaces des "regs".

Tous ces sols contiennent des sels solubles (sulfates, carbonates, bicarbonates de sodium principalement, mais aussi calcium, magnésium, potassium), mais en faible quantité et la valeur de la conductivité de l'extrait de saturation dépasse rarement 2 millimhos.

Le taux de saturation de ces sols est élevé, le plus souvent compris entre 60 et 100% en surface, entre 90 et 100% en profondeur.

L'analyse totale triacide montre ici encore l'importance de la fraction quartzeuse (50% environ). Les rapports $Si\ O2/Al2\ O3$ sont largement supérieurs à 2.

La fraction colloïdale inférieure à 2 μ apparaît constituée :

- dans le bassin du moyen Logone, par de la kaolinite dominante (70 à 95%), de l'illite (0 à 20%), de la goethite (5 à 15%). Echantillons T 411 - 413.
- dans le bassin des bahrs Aouk, Keïta, Salamat, dans celui du Logone inférieur et sur le pourtour du massif central tchadien, par de la montmorillonite dominante (40 à 60%), de la kaolinite (40 à 50%), de l'illite (0 à 10%). Echantillons T 61 - 63 - D 41 - 42.

Les teneurs en fer total sont comprises entre 5 et 6%. Il y a une légère augmentation avec la profondeur en même temps que les pourcentages d'argile croissent.

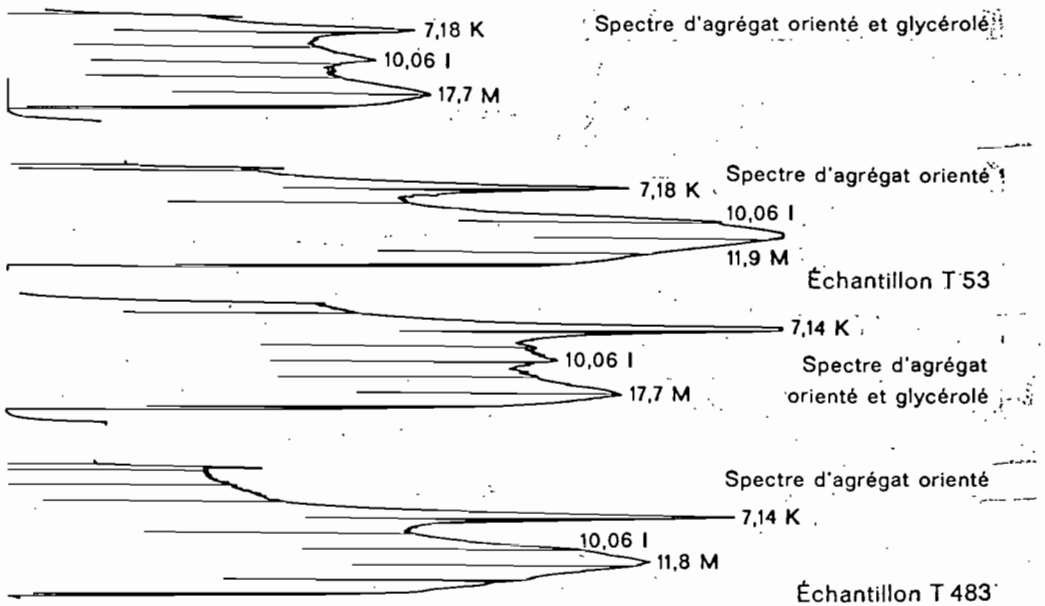
Les rapports fer libre/fer total sont sensiblement constants à l'intérieur d'un même profil et d'un profil à un autre. Ils sont de l'ordre de 50 à 60%. Une forte proportion fait partie du réseau cristallin de la montmorillonite.

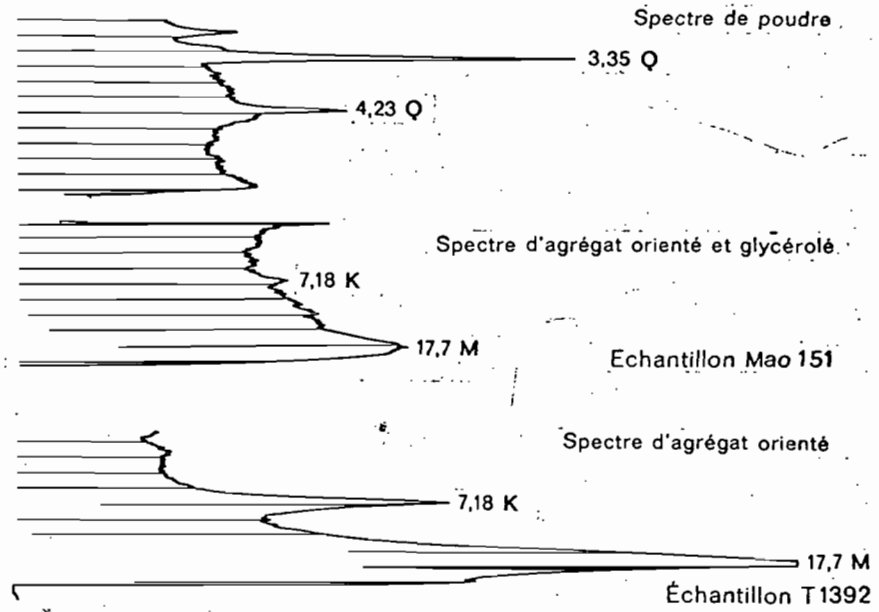
Parmi les éléments traces, Mn, Rb, Ba, Zr sont en fortes teneurs. Cr, Pb, Sr, V, Ni, Co, Cu, Li ont des teneurs moyennes à assez fortes. Mo, Sn, des teneurs faibles.

Les échantillons du moyen Logone (T 403 - 411 - 412) apparaissent plus riches en certains éléments que ceux de la dépression des bahrs Salamat-Aouk - Keïta (échantillons T 61 - 62 - 63).

Diagrammes de rayons x (fraction colloïdale < à 2 μ)

Figure 129





Sols de la série fluvio-lacustre argilo-sableuse à nodules calcaires

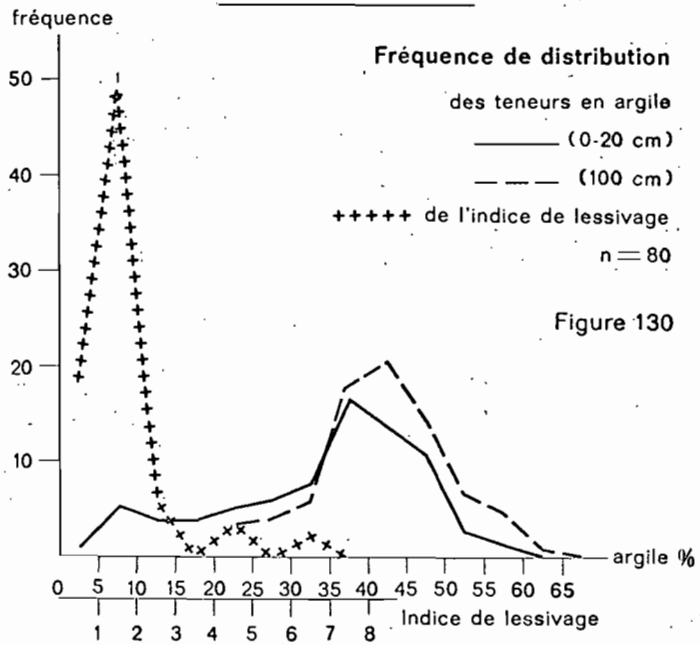


Figure 130

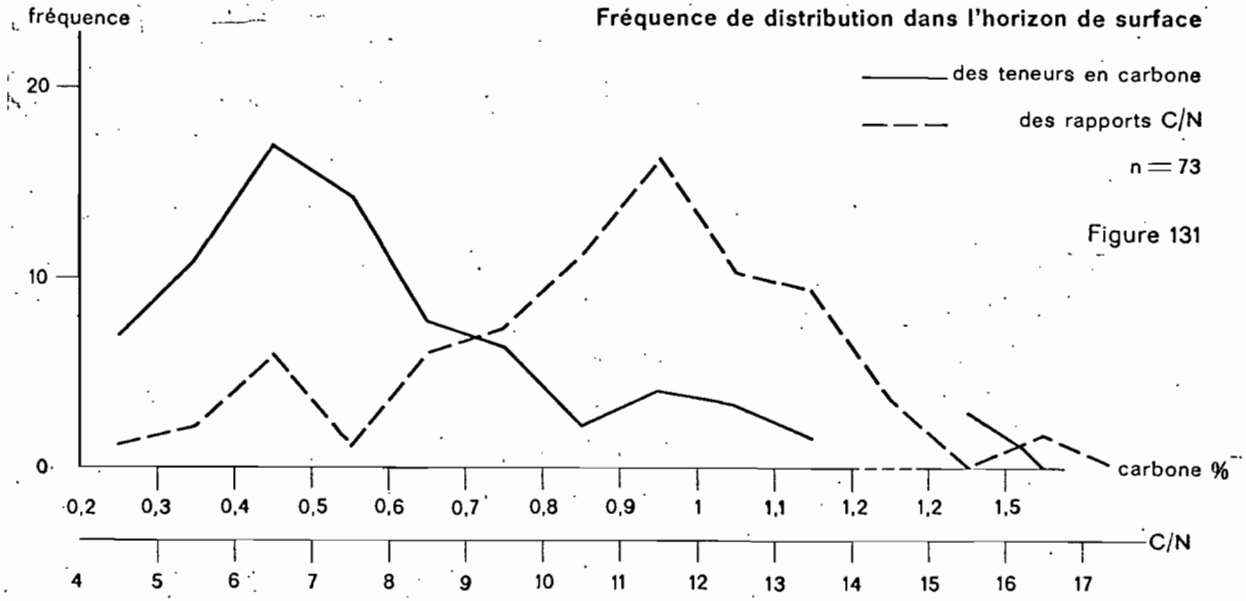


Figure 131

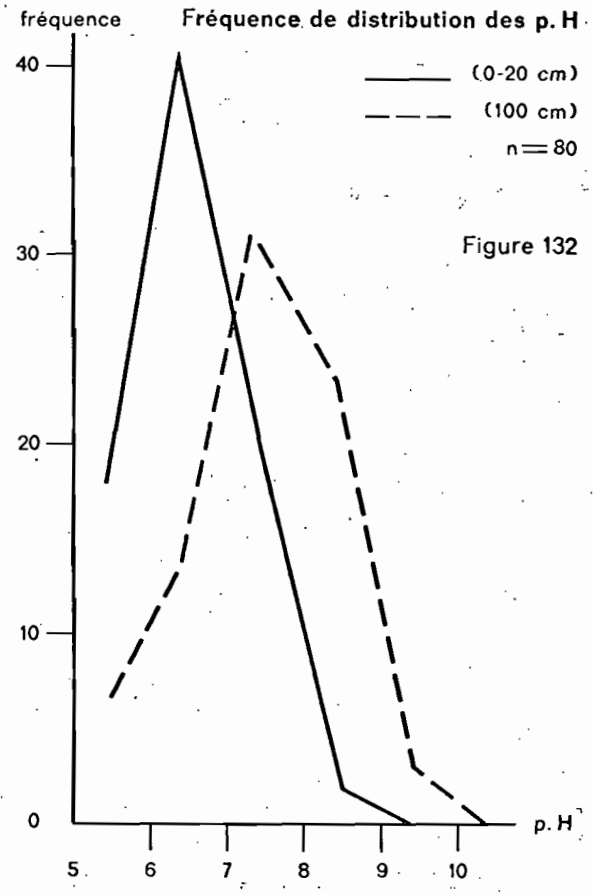


Figure 132

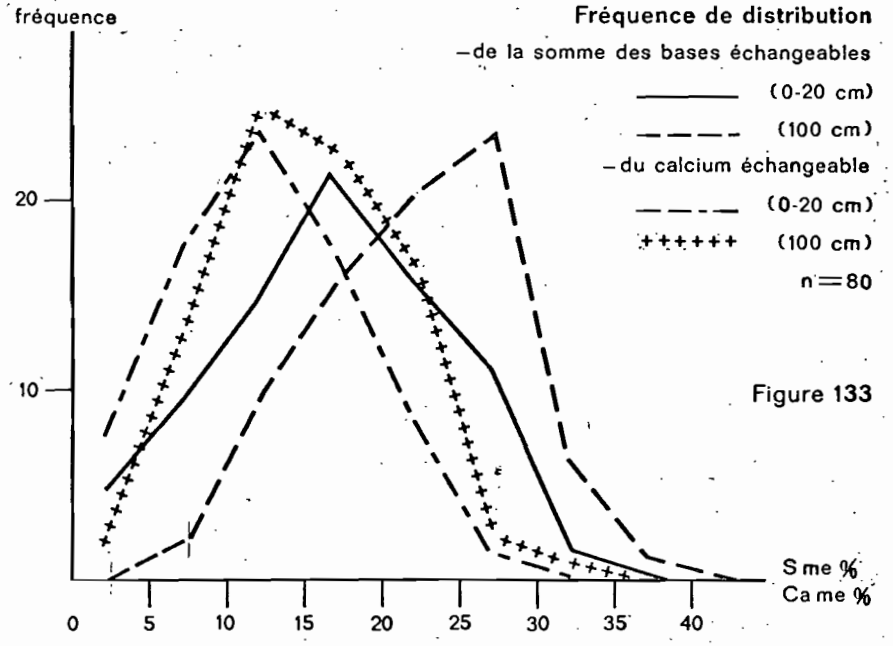


Figure 133

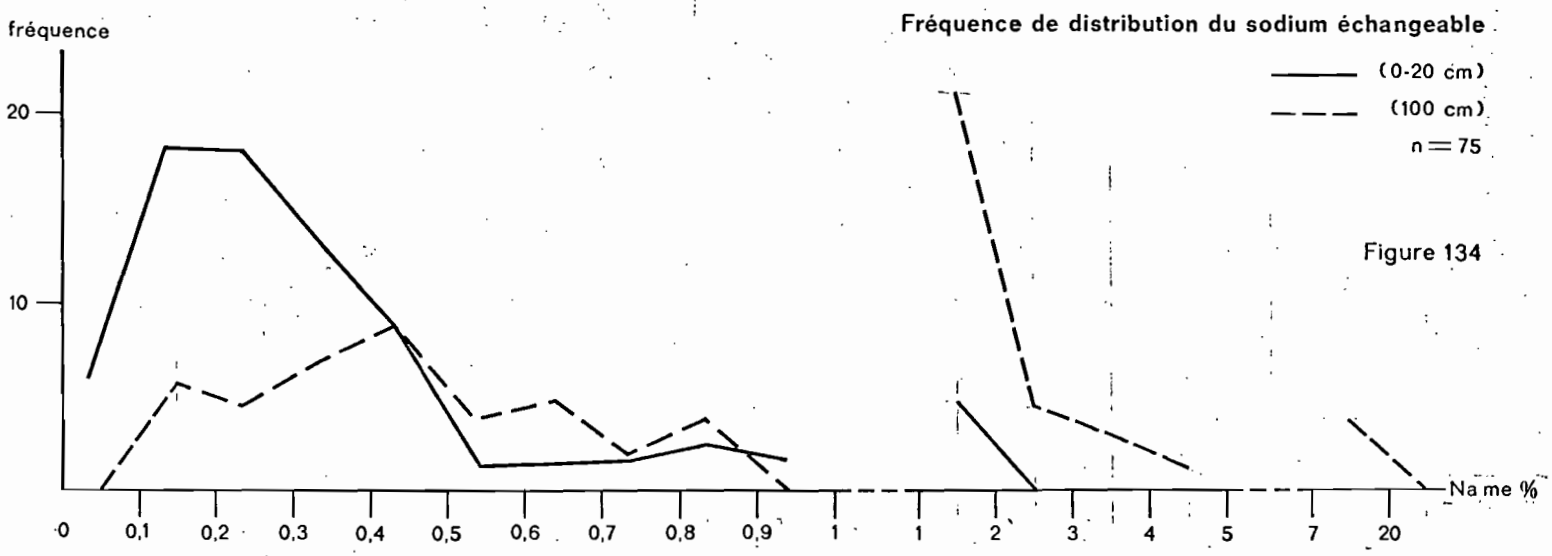


Figure 134

La couverture alluviale qui recouvre les argiles à nodules calcaires (échantillons T 401 - 402) est, elle, moins riche en manganèse que ces dernières (tableau 57 en annexe).

Les sols de cette série appartiennent principalement à la classe des vertisols dont ils possèdent les caractères généraux :

- profil de type A (B) C ou A (B) g C plus ou moins homogène par suite de mouvements du sol se traduisant par le microrelief de type "gilgaï";
- structure prismatique large en (B) et parfois A;
- texture argilo-sableuse à argileuse;
- surfaces bosselées et brillantes de certains éléments structuraux traduisant les mouvements internes du sol;
- présence de nodules calcaires dans tout le profil;
- coloration assez foncée dans la gamme des gris, gris-brun en A, brun, brun-olive en (B);
- instabilité structurale élevée et faible perméabilité;
- cohésion et compacité très fortes en sol sec. Faible porosité;
- pH faiblement acide à neutre en surface, neutre à alcalin en profondeur;
- complexe saturé surtout en profondeur avec dominance des ions Ca et Mg;
- fraction argileuse à forte proportion de minéraux 2-1. Certains sols cependant, notamment ceux du bassin du moyen Logone, sont à kaolinite dominante, bien que présentant les caractères des vertisols, (texture, structure, microrelief ...).

Tous ces sols appartiennent à la sous-classe des vertisols topomorphes.

- groupes : largement structuré dès la surface
  finement structuré en surface
- sous-groupe : à nodules calcaires.

Les sols des buttes exondées présentent les mêmes caractères que les sols de "regs" définis précédemment et appartiennent comme eux à la classe des sols halomorphes ou à celle des sols hydromorphes.

7. SOLS FORMES SUR LA SERIE LACUSTRE RECENTE

Les sols qui se forment sur cette série s'observent en des régions très différentes :

- dépression de la rive gauche du Logone entre Bongor et Fort-Lamy;
- dépressions des anciens deltas du Chari et du pourtour du Lac Fitri au nord et NE de Fort-Lamy;
- fosse d'Oum Hadjer;
- dépression du Bahr el Ghazal;
- interdunes du système dunaire au nord du 13ème parallèle et anciennes fosses ensablées par les ergs ou barkhanes dans les bas pays du Tchad et la dépression du Borkou.

Cette aire d'extension, très vaste, est limitée vers le Sud et l'Est par le cordon sableux de la cote 320 m, tandis que des témoins de ce pluvial se manifestent encore plus au Sud :

- fosse de Massénya;
- dépressions plus ou moins étendues où coulent les bahrs Salamat, Aouk, Keïta ...

Du fait de cette dispersion, nous allons avoir une très grande variété de sols en fonction :

- des conditions actuelles d'inondation puisque ces sols sont situés en des sites généralement mal drainés et sous des pluviométries encore importantes jusqu'au 13ème parallèle (500 mm);
- des conditions climatiques très différentes du Sud au Nord, puisque l'on passe de plus de 1000 mm à moins de 100 mm;
- de la présence de nappes permanentes subsistant à faible profondeur dans certaines régions voisines du lac.

Le 13° de latitude nord fait la limite de deux domaines distincts au Nord de laquelle cette série, très morcelée au milieu des sables, est représentée par des sols différents de ceux que l'on observe au Sud. Ceci est vrai à l'exception de dépressions occupant les piedmonts plus ou moins éloignés du massif du Ouaddaï (fosse d'Oum Hadjer, couloirs alluviaux des bahrs Enné, Adad ...)

7.1. LES SOLS AU SUD DU 13ème PARALLELE AU NORD ET A L'OUEST DU CORDON SABLEUX

7.1.1. Morphologie

Nous distinguerons trois types de sols en fonction de la topographie et de l'inondation.

7.1.1.1. Sols argileux de bas-fond subissant une forte inondation semi-permanente

Ils se localisent principalement sur la rive droite du Logone, mais s'étendent surtout au Cameroun et en Nigéria où l'ancienne étendue lacustre avait une grande aire d'extension.

Profil T 5D

Localisation : dépression entre Logone et Chari, entre Mandélia et Fort-Lamy. 12° de latitude nord - 15°08 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 700 mm.

Topographie plane, rares effondrements.

Végétation : prairie graminéenne à Andropogonées brûlées lors du prélèvement. Quelques arbres : Acacia sieberiana, Mitragyna africana.

Inondé sous une lame d'eau importante (1 m environ au maximum de la crue) pendant plusieurs mois de l'année de juillet à décembre-janvier.

0 - 7 cm : gris-noir (10 YR 3,5/1) à taches et traînées rouille, argilo-sableux à argileux, très superficiellement lamellaire, puis polyédrique fin, cohésion et compacité moyennes, bon enracinement. En surface, fentes de retrait peu marquées.

7 - 35 cm : brun-noir (10 YR 4,5/2) à marbrures rouille nombreuses donnant un aspect d'ensemble brunâtre, argileux, prismatique grossier, très compact à forte cohésion, faible enracinement.

55 - 250 cm : identique, mais légèrement humide. Quelques masses

calcaires blanchâtres en voie de formation et non consolidées mêlées à l'argile (3 à 5 cm de diamètre).

250 cm : sable jaune (10 YR 8/6) tacheté de rouille.

Plus au Sud, où l'inondation est encore plus importante, s'observe à faible profondeur 20-50 cm, un horizon de gley (5 Y 7/1) très caractéristique.

7.1.1.2. Sols argileux de dépression à inondation temporaire

Ils s'observent au nord de Fort-Lamy, autour du lac Fitri, dans les fosses d'Oum Hadjer, de Massénya ou dans des dépressions bordant des cours d'eau plus modestes Batha, Ouadis Riné, Adad ... bahrs Salamat, Keïta, Aouk ...

Profil T 5

Localisation : Doudéï, nord d'Harazé. 10°05 de latitude nord - 20°47 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 1100 mm.

Topographie : zone plane, inondée par l'eau des précipitations en saison des pluies et les débordements du bahr Mindjik et de ses affluents.

Végétation : savane armée à Acacia seyal clairsemés, Bauhinia reticulata, Ziziphus mauritiaca.

En surface, horizon très structuré d'épaisseur variable de quelques centimètres à 40-50 cm. Fentes de retrait descendant jusqu'à 110 cm. Ces fentes de retrait dessinent un réseau de polygones qui apparaît dans les endroits où l'horizon superficiel à structuration fine fait défaut. Quelques rares effondrements.

0 - 28 cm : gris-brun (2,5 Y 4,5/2), argileux, polyédrique moyen à fin, beaucoup plus fin sur les 2 à 3 cm supérieurs où s'observent des trainées rouille le long des racines, bon enracinement, cohésion et compacité fortes, porosité d'agrégats.

28 - 50 cm : transition, moins bien structuré, massif, encore quelques racines.

50 - 110 cm : gris brunâtre (2,5 Y 6/2), argileux, prismatique grossier, surfaces structurales brillantes, bosselées, parfois striées (faces de glissement), tendance lamellaire assez nette, très compact, à forte cohésion, peu à pas de racines, très petits nodules calcaires de la grosseur d'une tête d'épingle et friables.

110 - 220 cm : identique, mais à taches rouille d'hydromorphie commençant à apparaître, donnant un aspect brunâtre très brillant, surfaces de glissement moins nettes.

220 - 330 cm : jaunâtre (2,5 Y 7/4) à taches rouille, argilo-sableux, massif (humide), nodules calcaires de 2 à 3 cm de diamètre assez abondants.

La coloration est indiquée à l'état sec, à l'état humide les sols apparaissent noirs, gris-noir (2,5 Y 3/0, 4/0).

Ces sols sont souvent très largement structurés dès la surface avec des fentes de retrait distribuées en polygones de 40 à 80 cm de diamètre.

7.1.1.3. Sols argilo-sableux de dépressions peu accusées ou de bordure de dépressions subissant une submersion faible par les eaux des précipitations ou de ruissellement

Ils se voient surtout au N et NE de Fort-Lamy et sur le pourtour du Lac Fitri.

Profil Da 15

Localisation : Dabkaraye - NE de Fort-Lamy. 12°45 de latitude nord - 15°35 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 550 mm.

Topographie : bordure de dépression.

Végétation arbustive clairsemée disposée en ilôts : Acacia seyal, Balanites aegyptiaca, Lannea humilis, Capparis decidua.

0 - 20 cm : brun-noir (2,5 Y 4/2) à taches rouille, argilo-sableux, cubique tendant à former des colonnettes, très compact, forte cohésion, enracinement faible. Quelques petits amas calcaires.

20 - 100 cm : brunâtre (2,5 Y 4/4), également à taches, pseudo-mycelium abondant, argilo-sableux, polyédrique moyen, très compact, à forte cohésion jusqu'à 50 cm, puis plus faible et alors débit en petits polyèdres, enracinement faible à nul.

7.1.2. Caractères analytiques des profils T 5 - T 51 - Da 15

Tableaux XXIV, XXV, XXVI

7.1.3. Caractères analytiques généraux

L'évolution de ces trois types de sols est dominée par un excès d'eau dû, soit à un engorgement d'ensemble plus ou moins profond, soit à une inondation temporaire, semi-permanente à permanente.

7.1.3.1. Sols argileux de bas-fonds à inondation semi-permanente

Ils vont présenter, à faible profondeur, un horizon à pseudo-gley précédemment défini, ou à gley, c'est-à-dire un horizon où les phénomènes de réduction l'emportent sur l'oxydation; le fer est réduit à l'état ferreux, s'accumule ou est éliminé, ce qui donne la couleur gris-verdâtre ou bleutée caractéristique. Il peut y avoir également dans certains cas redistribution :

- du calcaire tendant à donner des amas intimement liés à l'argile et non consolidé;
- de sels solubles que décèlera l'analyse.

Le microrelief est atténué. Les fentes de retrait sont peu profondes (40 à 100 cm), et distribuées irrégulièrement.

Leur coloration se situe dans les gammes des 10 YR ou 2,5 Y. Ils apparaissent gris-noir, gris-brun foncé en surface (10 YR 3/1 ... 5/2, 2,5 Y 4/0 ... 4/2), de couleur légèrement plus claire en profondeur (10 YR 4/1... 6/3, 2,5 Y 4,5/0 ... 6/2) en même temps qu'apparaissent des taches rouille précédant souvent l'horizon de gley (5 Y 7/1, 5,G Y 6/1 ...).

La structure est grossière, prismatique ou prismatico-polyédrique dès la surface. La compacité et la cohésion fortes, la porosité tubulaire faible sauf dans l'horizon superficiel.

Assez peu de ces sols vont présenter des phénomènes de salure. Ceux-ci se différencient mal des types non halomorphes. Morphologiquement, dans certains cas, l'apparition d'une faible cohésion en sol sec avec sous-structure polyédrique fine dans les horizons profonds est une de leurs caractéristiques, mis à part des taux de sodium échangeables ou de sels solubles en quantités élevées que seule l'analyse décèle. La végétation est identique dans les deux cas.

L'indice d'instabilité structurale est élevé, supérieur à 2 en surface et en profondeur (structure très mauvaise).

Les perméabilités en sol humide sont faibles (1,5 à 4 cm/h) à très faibles (inférieures à 1,5 cm/h).

Les taux d'argile sont ici compris : en surface, entre 35 et 70% avec un léger maximum entre 50-55 et 65-70%; en profondeur, principalement entre 45 et 50% et 65-70% (figure 135). On note des augmentations légères avec la profondeur.

Les teneurs en limon fin sont parfois élevées, 15 à 20%, tandis que le pourcentage de sable grossier est faible (rarement plus de 5%).

La courbe de fréquence des taux de carbone est très étalée sur l'axe des abscisses, entre 0,5 et 2,1% avec deux maxima peu accusés (0,7-0,8% et 0,9-1%). Les rapports C/N sont souvent compris entre 9 et 13 (figure 136).

Les teneurs en matière humique totale sont assez fortes (1,5 à 4%) pour des taux d'humification modestes (15 à 25%). Il y a dominance bien marquée des acides humiques sur les acides fulviques. Dans les premiers, les acides humiques gris peuvent l'emporter nettement.

Les pH se tiennent entre 4 et 7 en surface avec un maximum entre 5 et 6 et se relèvent d'une façon générale en profondeur (5 à 8). Dans les deux cas, on peut observer exceptionnellement des pH voisins de 9 (figure 137).

La somme des bases échangeables a des valeurs variables, en relation avec la texture, le pH, la plus ou moins grande richesse en matière organique. La courbe de fréquence assymétrique présente un maximum entre 25 et 30% en surface; en profondeur, les valeurs sont comprises entre 15 et 35 me%. Dans ce dernier horizon, les sols présentant des phénomènes de salure sont abondants entre 30 et 35 me % (figure 138).

L'ion Ca domine largement : 5 à 25 me % en surface
10 à 25 me % en profondeur (figure 138).

L'ion Mg a des valeurs variables comprises entre 1 et 13 me % sans dominance bien marquée. Les rapports Ca/Mg dépassent rarement 3 à 4.

L'ion K présente une dispersion analogue dans l'horizon de surface avec un maximum entre 0,6-0,7, tandis qu'en profondeur on assiste à une diminution des taux et à un regroupement des valeurs surtout comprises entre 0,3 et 0,7 me %.

L'ion Na a des valeurs souvent faibles en surface dans les sols non halomorphes (0,1 à 0,4 me %), plus élevées en profondeur (maximum entre 0 et 2 me %). Dans les sols à tendance halomorphe, ces valeurs de Na sont généralement supérieures à 1 me % et peuvent atteindre 6 à 7 me %. Malgré ces valeurs élevées, il y en a peu possédant des rapports Na/Ca échangeables supérieurs à 15, car les teneurs en ion calcium sont importantes. Les rapports les plus élevés sont notés en profondeur (figure 139).

On trouve également des sels solubles (SO_4Na_2, CO_3HNa, CO_3Na_2). L'extrait de saturation du sol a généralement des valeurs inférieures à 4 millimhos.

Les taux de saturation (V %) sont très élevés dans les horizons profonds (90 à 100%), moindres en surface (50-60%) où les pH sont beaucoup plus bas.

L'analyse totale aux triacides révèle l'importance de la fraction quartzeuse fréquemment supérieure à 40%. Les rapports Si 02/Al2 03 sont voisins de 3.

La fraction colloïdale est à dominance de montmorillonite (30 à 50%) et de kaolinite (40 à 70%). On trouve aussi de l'illite (5 à 10%) des hydroxydes de fer (échantillons T 512 - 514 - T 101 - 102 - D 21 - 22 - T 491 - 492 - 494 ...).

Les teneurs en fer total varient différemment pour les deux exemples que nous possédons. Elles sont sensiblement constantes avec la profondeur (T 51) pour des quantités voisines d'argile, de nature et de pourcentages identiques (montmorillonite - kaolinite en codominance) (1). Elles diminuent avec la profondeur en même temps qu'augmente la teneur en argile, mais que la kaolinite devient très dominante (T 10). Ceci tend une nouvelle fois à prouver l'intervention du fer dans le réseau cristallin de la montmorillonite en remplacement du magnésium en très faible quantité.

Les rapports Fe2 03 libre/Fe2 03 total sont, dans les exemples cités, voisins de 40 à 50%.

Parmi les éléments traces, Mo, Sn, V, Ni sont en faibles teneurs; Mn, Cu, Zn, Pb, Co, Cr, Sr, Li en teneurs moyennes; Zr, Ba, Rb en teneurs assez fortes à fortes. (Tableau 58 en annexe).

7.1.3.2. Les sols argileux de dépression à inondation temporaire

Ils ont un profil de type A (B) C ou A (B) g C à horizons :

A finement structuré ou non;
(B) à structure prismatique large où se perçoivent des surfaces bosselées et brillantes de glissement;
l'horizon (B) g apparaît plus ou moins distinctement à plus grande profondeur et fait le passage à C avec lequel il se confond souvent.

Il peut exister dans ces sols un microrelief, mais souvent très atténué. De même, les nodules calcaires sont peu abondants ou inexistants et alors de petite taille et friables (2). Les fentes de retrait vont à plus d'un mètre et se distribuent en surface en larges polygones réguliers.

Leur coloration est identique à celle des sols précédents, mais la teinte gris-noir, gris-brun descend plus profondément et l'horizon de gley est absent.

La structure des horizons profonds est aussi la même; l'horizon de surface apparaît parfois finement structuré, de type polyédrique sur 10-20 cm,

(1)	T 512	T 514	T 101	T 103
Fe 03 total %	4,9	5,2	5,35	3,2
Argile %	45	45	24	32
Montmorillonite	35 à 40 %	40 à 45 %	45 à 50%	30 à 35 %
Kaolinite	50 à 55 %	40 à 45 %	45 à 50%	65 à 70 %
Illite	5 %	10 à 15 %	5 %	

(2) La nodulation peut être cependant très forte dans certains cas comme au Nord de Fort-Lamy.

Sols de la série lacustre récente (S. du 13e parallèle)

Sols à forte inondation

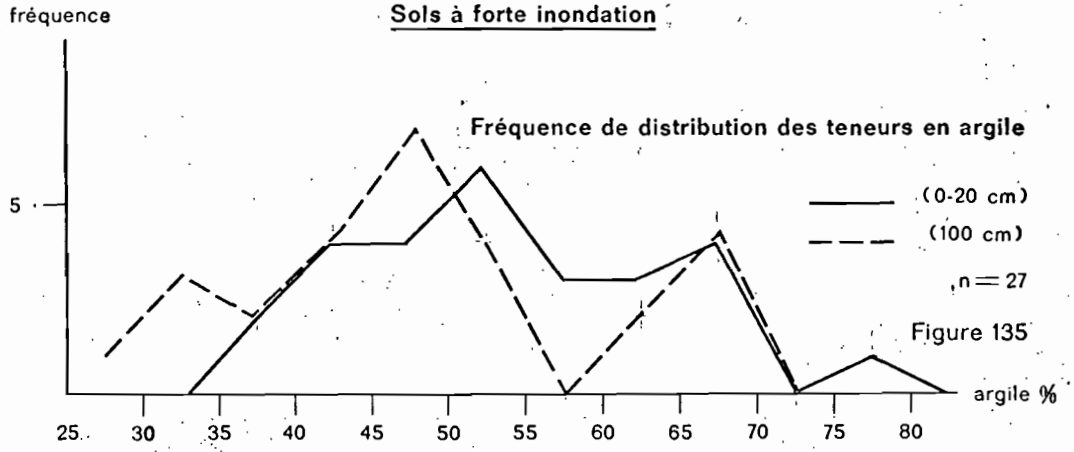


Figure 135

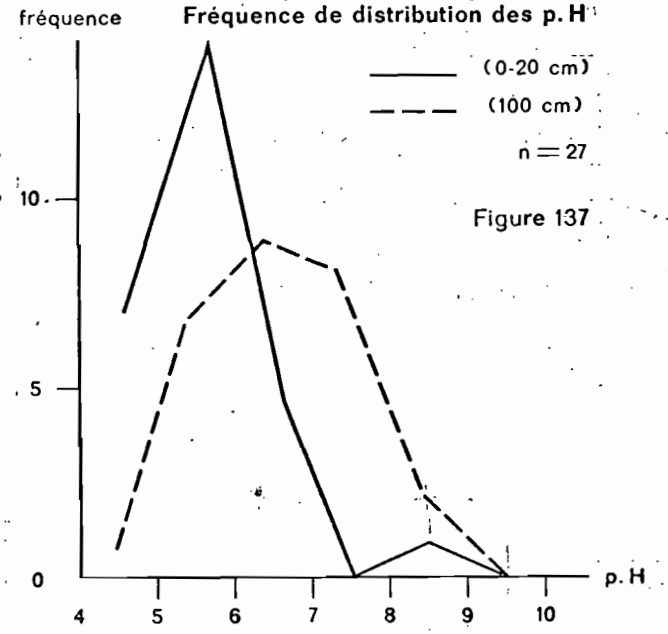


Figure 137

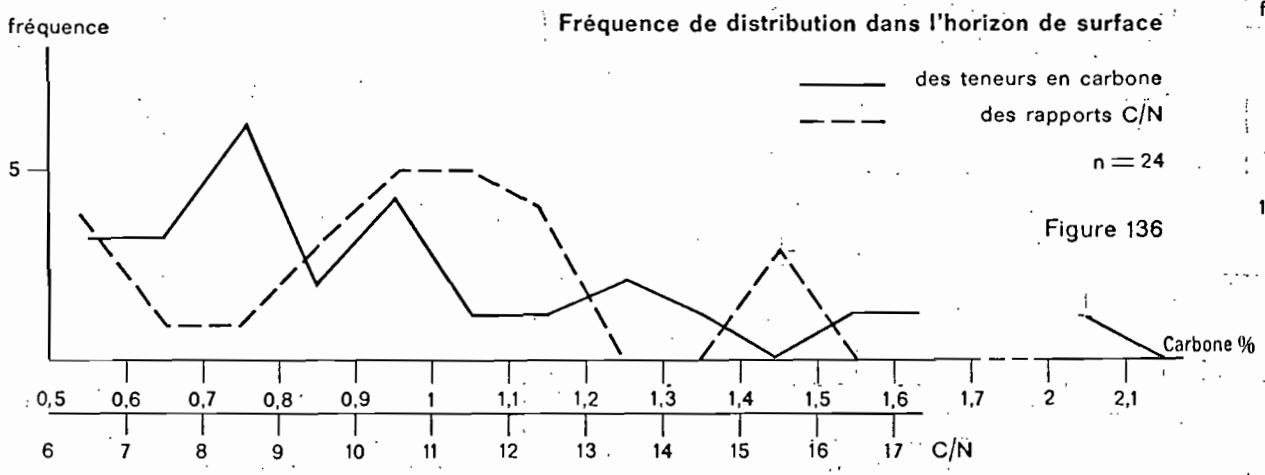


Figure 136

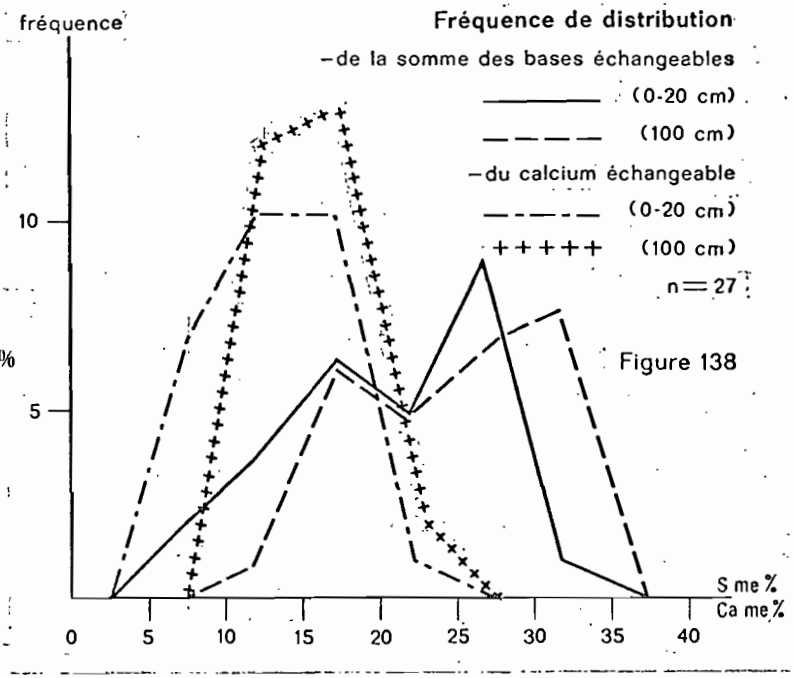


Figure 138

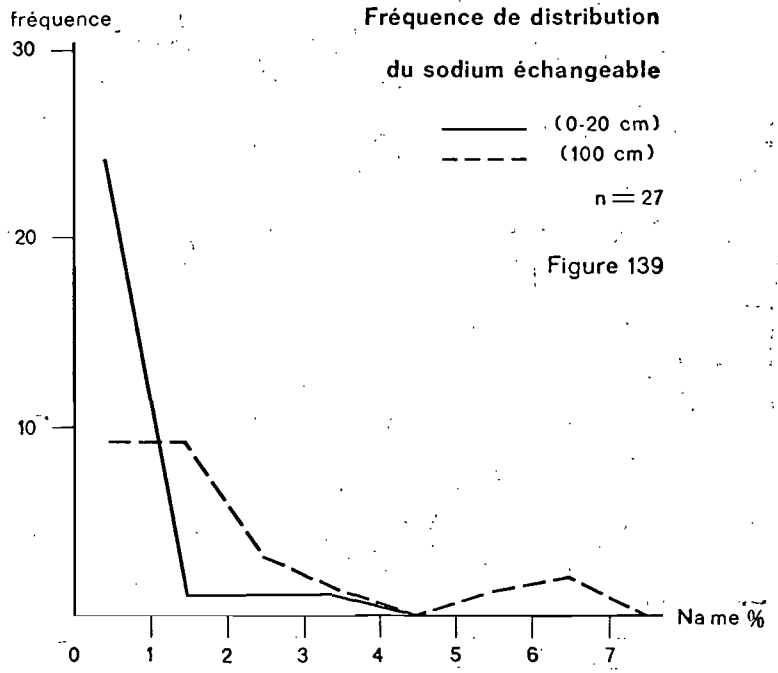


Figure 139

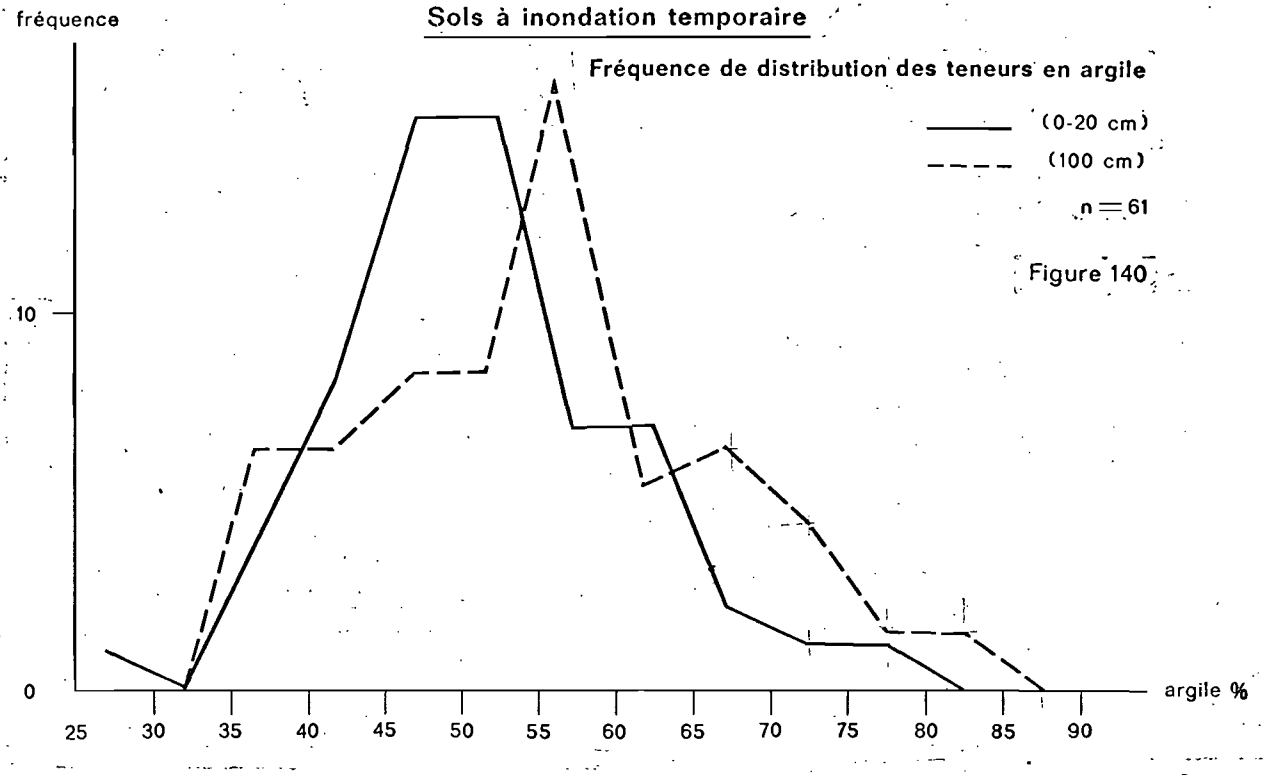


Figure 140

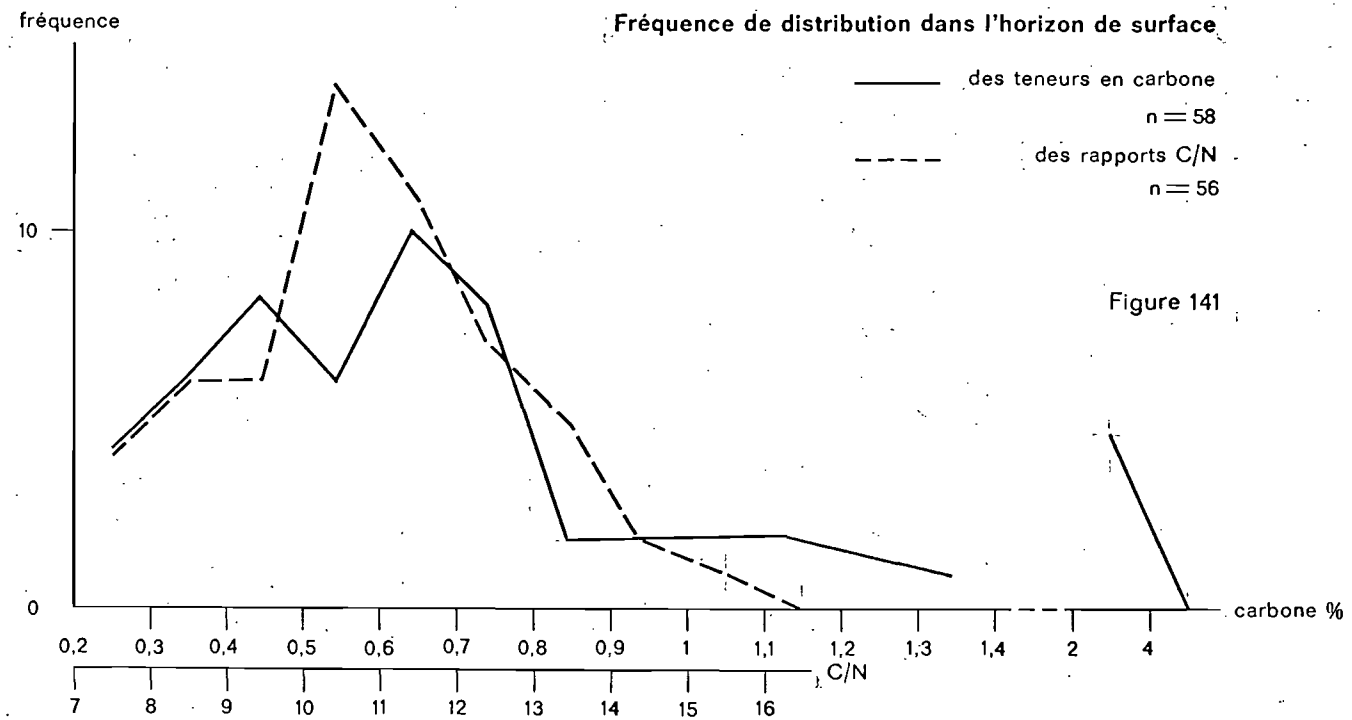


Figure 141

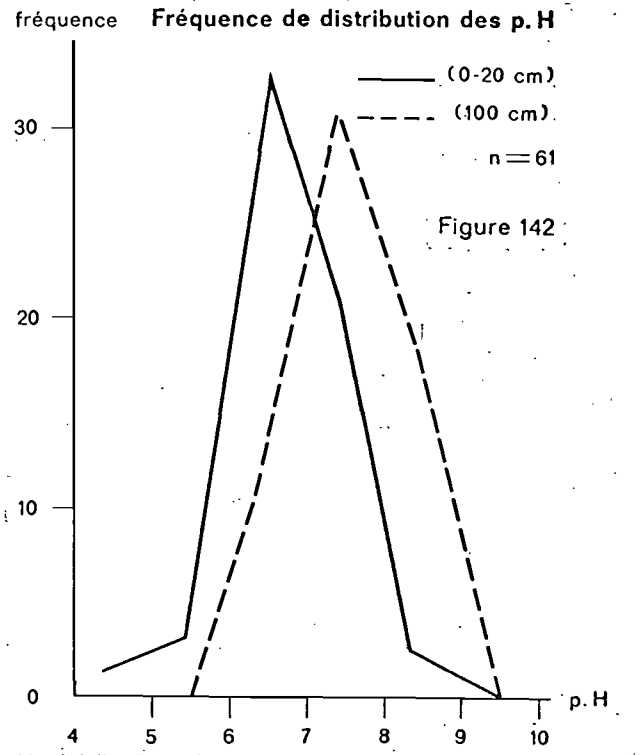


Figure 142

parfois plus. Cohésion, compacité, porosité sont également identiques.

Des variantes à ce type présentant des tendances halomorphes sont également notées, mais seulement à l'analyse car rien, bien souvent, ne différencie ces deux types si ce n'est parfois un horizon à points blancs ou à pseudo-mycelium où la cohésion devient plus faible malgré une forte compacité. Il se note alors un débit des éléments structuraux en fins polyèdres. Rarement des efflorescences blanchâtres sont visibles en surface. La végétation de ces sols est identique au type normal.

Dans tous ces sols, l'instabilité structurale est élevée, supérieure à 2 le plus souvent (très mauvaise structure), surtout en profondeur, les perméabilités en sol humide et sec sont très faibles.

Les teneurs en argile sont comprises principalement, en surface, entre 35 et 65% avec un maximum entre 45 et 55%; en profondeur, la gamme des valeurs est plus étendue (35 à 75 %) avec un maximum entre 55 et 60 %. Il y a, le plus souvent, une légère augmentation des taux d'argile avec la profondeur (figure 140).

Les teneurs en limon peuvent être importantes, atteignant dans certains cas 15 à 20%.

La courbe de fréquence des taux de carbone assez étalée présente plusieurs maxima (figure 141) :

- sols non halomorphes entre 0,2 et 0,3 % - 0,5 et 0,8 %
- sols à tendance halomorphe 0,4 et 0,5 % - 0,6 et 0,7 %.

Les rapports C/N ont un maximum entre 10 et 12 pour les premiers, ne présentent pas de maximum bien net pour les seconds qui sont alors compris entre 7 et 14 (figure 141).

Les teneurs en matière humique totale sont moins élevées que dans les sols précédents, mais les taux d'humification plus forts, souvent 20 à 30%. Les acides humiques gris et bruns l'emportent sur les acides fulviques.

Les pH augmentent en profondeur dans les deux cas :

- 6 à 8 en surface - 6 à 8 et 9 en profondeur (sols non halomorphes)
- 6 à 9 en surface - 7 à 9 en profondeur (autres sols) - Figure 142.

Les valeurs de S varient entre 15 et 45 en surface, entre 15 et 65 me % en profondeur, avec les maxima compris entre 20 et 35 et 25 et 35 me % (figure 143).

L'ion Ca est presque toujours le plus important (figure 143).

- sols non halomorphes : surface, 10 à 25 me % (maximum entre 10 et 15 me %);
  profondeur, maximum accusé entre 15 et 20 me %.
- sols à tendance halomorphe : surface, 10 à 30 me % sans maximum marqué;
  profondeur, 10 à 30 me %, avec maximum peu marqué entre 15 et 20 me %.

L'ion Mg prend des valeurs très diverses qui s'échelonnent entre 1 et 17 me %.

- sols non halomorphes : maxima peu marqué entre 6 et 10 me % (en surface). En profondeur, les valeurs les plus courantes sont entre 3 et 10 me %.
- sols à tendance halomorphe : maximum entre 7 et 8 me % (en surface). En profondeur, maxima entre 4 et 10 me %.

Les rapports Ca/Mg sont en général de l'ordre de 2-3, mais peuvent exceptionnellement atteindre des chiffres élevés, 8-9 ...

L'ion K a des valeurs relativement importantes

- sols non halomorphes : en surface, 0,2 à 3 me %, avec maximum entre 0,6 et 0,7 me % (10 à 15 % sont seulement supérieurs à 1 me %);
  en profondeur, 0,1 à 3 me %, les valeurs sont également réparties entre 0,3 et 1 me %, 10 % sont supérieures à 1 me %.
- sols à tendance halomorphe : en surface, 0,3 à 5 me %; 40% des valeurs sont supérieures à 1 me %;
  en profondeur, 0,2 à 10 me %; 30 à 35 % sont supérieures à 1 me %.

On observe d'une façon générale une baisse des valeurs de K en profondeur. Celles-ci peuvent être importantes ou légères.

L'ion Na prend fréquemment des valeurs élevées (figure 144)

- sols non halomorphes : en surface, 0,1 à 2 me % avec un maximum entre 0,3 et 0,6 me %. Moins de 10% sont supérieurs à 1 me %. En profondeur, 0,1 à 3 me % avec un maximum entre 1 et 2 me %. 65 à 70% des échantillons sont supérieurs à 1 me %.
- sols à tendance halomorphe : en surface, 0,1 à 13 me %. 65 à 70% sont supérieurs à 1 me %. En profondeur, 1 à 25 %; tous les échantillons sont supérieurs à 1 me %.

Les rapports Na/Ca échangeables % sont dans les sols à caractères halomorphes.

- en surface : le plus souvent compris entre 0 et 15;
- en profondeur : les valeurs de ce rapport sont étalées, comprises principalement entre 10 et 50, avec un maximum entre 15 et 20. Certaines valeurs montent jusqu'à 200.

Ce rapport croît généralement dans un même profil de la surface vers la profondeur. Des cas de concentration de Na échangeable en surface s'observent plus rarement.

Ces sols présentent des sels solubles en plus ou moins grande abondance. Certains d'entre eux ont des conductivités de leur extrait de saturation dépassant 4 millimhos, ceci en profondeur où l'on trouve même une valeur de 10,5 millimhos. Dans ce même sol, en surface, valeur exceptionnelle de 4,5 millimhos. Les sels solubles sont ici encore des carbonates, bicarbonates ou sulfates de sodium.

Les taux de saturation de ces sols sont très élevés, notamment en profondeur où ils sont pratiquement tous saturés. Ils sont parfois légèrement plus faibles en surface (60 à 80%).

L'analyse triacide indique des rapports Si 02/Al2 03 compris entre 2 et 3.

La fraction colloïdale inférieure à 2 µ de ces sols est constituée principalement de montmorillonite (30 à 50%) associée à de la kaolinite (15 à 35 %) et parfois de l'illite (30 à 40%) - Echantillons T 51 - 53 - T 481 - 483 - C 20 - C 29 ... (figure 129).

Les teneurs en fer total sont assez élevées, de 6 à 8 % dans les horizons les plus argileux, elles augmentent légèrement en profondeur avec les teneurs en argile pour s'abaisser brutalement à plus grande profondeur en même temps que ces dernières diminuent.

Les rapports Fer libre/Fer total sont de l'ordre de 40 à 60 %. Il est difficile de déceler une variation de ces valeurs à l'intérieur d'un profil.

Les observations faites pour les éléments traces des sols précédents sont valables ici. Les échantillons du profil T 10 présentent cependant de plus fortes teneurs en Mn, des chiffres plus élevés en V, Ni, Li, de plus bas en Sr et Rb (tableau 58 en annexe).

7.1.3.3. Les sols argilo-sableux de dépressions peu accusées ou de bordure de dépressions subissant une faible submersion

Ils présentent de grande analogies morphologiques et physico-chimiques avec les sols formés sur la série argilo-sableuse des "regs" et ceux des buttes de la série argilo-sableuse à nodules calcaires. Ils sont de type A Bg C ou A BgCa C.Ils possèdent un horizon A souvent appauvri en argile, un B argilo-sableux plus ou moins largement structuré, à pseudo-gley, et parfois pseudo-mycelium calcaire. Les fentes de retrait sont peu marquées et peu profondes (20 à 40 cm).

Leur coloration est dans la gamme des 10 YR, ils sont gris-brun, gris-noir en surface (4/2 - 3/1) brun clair à faible profondeur (6/2) avec des taches rouille ou jaunâtres. Comme les sols ci-dessus auxquels ils s'apparentent, ils vont présenter un pseudo-mycelium blanchâtre, des amas calcaires blancs, parfois un horizon B_1 blanchi.

Leur structure est également voisine de celle de ces sols : à horizon A polyédrique fin ou nuciforme, B prismatique, polyédrique grossier ou superficiellement cubique ou en colonnettes (10 à 30 cm). Ils sont très compacts et à forte cohésion dans les horizons B_1, à plus faible cohésion, mais toujours très compacts dans les horizons Bg, Bg Ca où la sous-structure peut être polyédrique fine.

Les taux d'argile, en surface, sont très variables, compris entre 0 et 35 %. En profondeur, ils sont le plus souvent entre 25 et 35 %.

L'indice de lessivage se situe entre 1 et 2 pour les sols non-halomorphes, entre 1 et 3 pour les sols halomorphes. Des indices plus élevés sont

notés ainsi qu'entre 0 et 1. L'horizon superficiel est alors très légèrement plus argileux que l'horizon profond (figure 145). Les courbes de distribution d'argile avec la profondeur sont du même type que pour les sols des "regs" avec parfois un très léger "bec" d'accumulation argileuse sous l'horizon appauvri en argile.

Les teneurs en carbone sont diverses : 0,1 à 0,7 % pour les sols non halomorphes; 0,1 à 0,5 % pour les sols halomorphes. Les rapports C/N sont plus faibles dans ces derniers (maximum entre 7 et 10) que dans les autres (maximum entre 11 et 12) - Figure 146.

Les pH sont compris : en surface entre 5 et 7 pour les sols sans halomorphie, principalement entre 6 et 9 pour les autres; en profondeur entre 6 et 8 et entre 7 et 10 - Figure 147.

Les valeurs de S sont situées : en surface entre 0 et 25 me % pour les sols halomorphes, sans dominance entre 0 et 15 me % pour les autres sols. En profondeur, principalement entre 20 et 30 me % pour les premiers, entre 10 et 25 me % pour les seconds (figure 148).

Les variations des différents cations échangeables appellent les remarques suivantes :

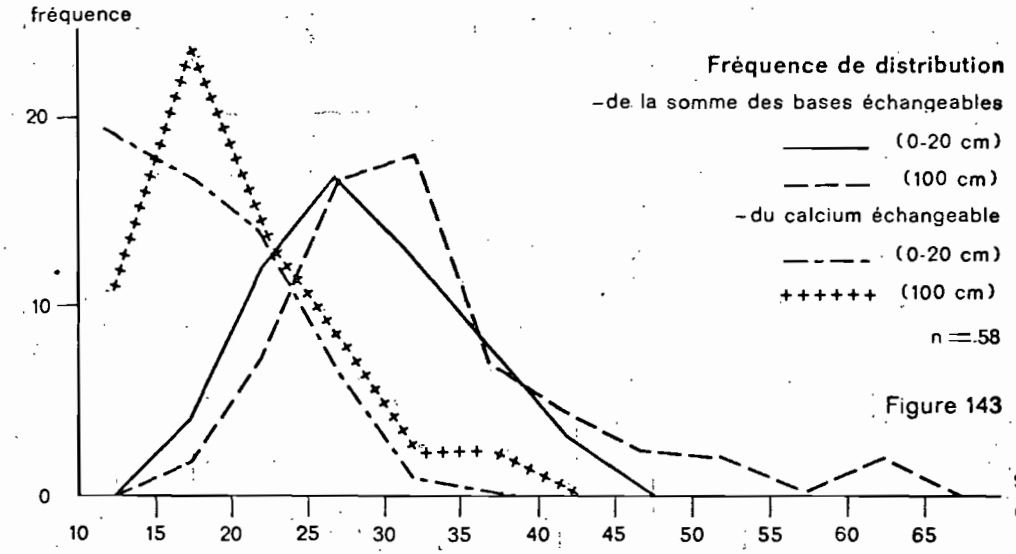
- valeurs de Ca et Mg généralement plus faibles que dans les sols précédents, surtout dans les horizons de surface des sols non halomorphes;
- augmentation avec la profondeur des différents cations, sauf K qui diminue souvent, bien que de fortes valeurs soient observées parfois en profondeur;
- importante augmentation de Na dans les horizons profonds des sols halomorphes (figure 149).

Ces sols de dépressions peu accusées ou de bordure de dépression s'apparentent aux sols de la série des "regs" :

- par un complexe absorbant fortement saturé;
- par des rapports Na/Ca échangeables souvent élevés, principalement dans les horizons profonds;
- par la présence de sels solubles (SO_4Na_2, CO_3HNa, CO_3Na_2) qui en font, quelquefois, des sols salés (conductivité de l'extrait de saturation supérieure à 4 millimhos);
- par une fraction argileuse à codominance de montmorillonite et de kaolinite.

Les sols argileux des bas-fonds à inondation semi-permanente, qui présentent à faible profondeur un horizon de pseudo-gley ou de gley, de coloration foncée dans leur horizon supérieur à structure grossière prismatique à rares nodules calcaires et effondrements peu abondants, à codominance de montmorillonite et kaolinite, vont se ranger dans la classe des sols hydromorphes.

- sous classe : sols hydromorphes minéraux
- groupe : à gley
- sous-groupes : . de surface ou d'ensemble
  . de profondeur
  . à alcalis, salé ou salé à alcalis.



Fréquence de distribution

-de la somme des bases échangeables

——— (0-20 cm)

– – – (100 cm)

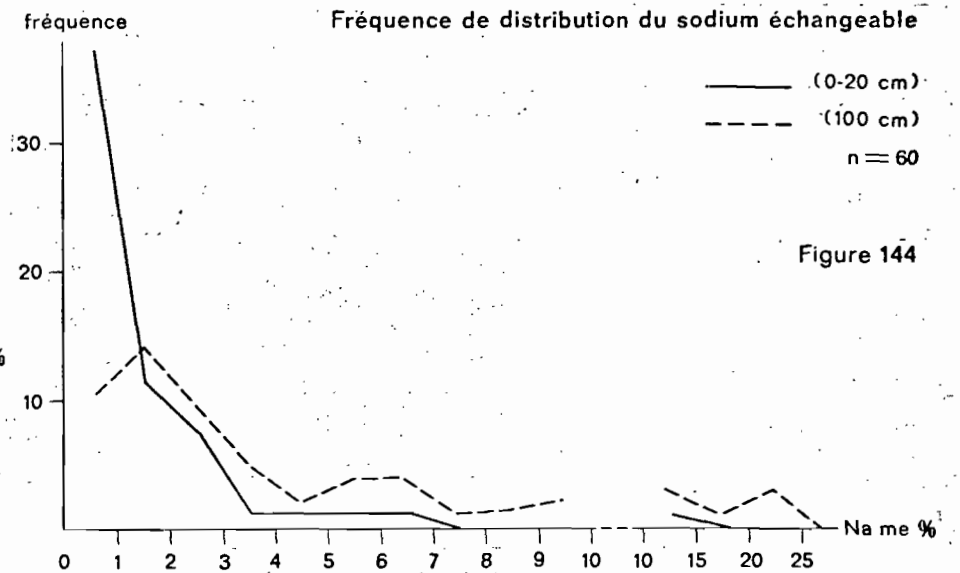
-du calcium échangeable

– – – – (0-20 cm)

++++++ (100 cm)

n = 58

Figure 143



Fréquence de distribution du sodium échangeable

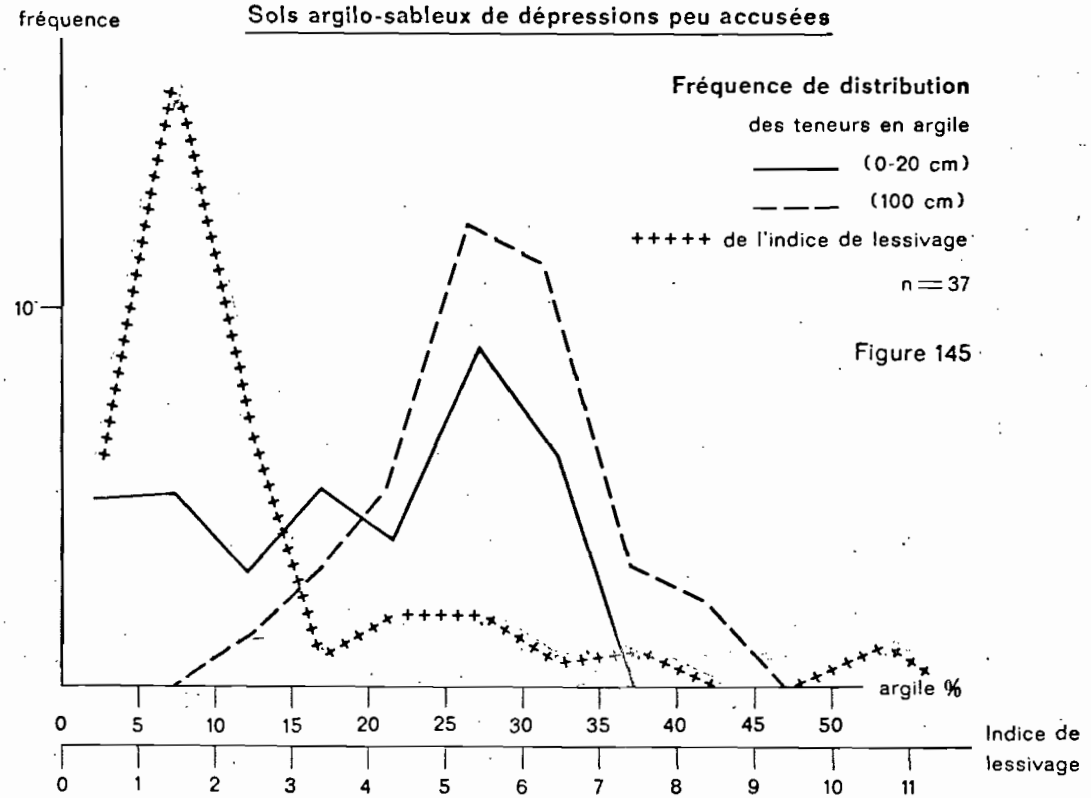
——— (0-20 cm)

– – – (100 cm)

n = 60

Figure 144

Sols argilo-sableux de dépressions peu accusées



Fréquence de distribution

des teneurs en argile

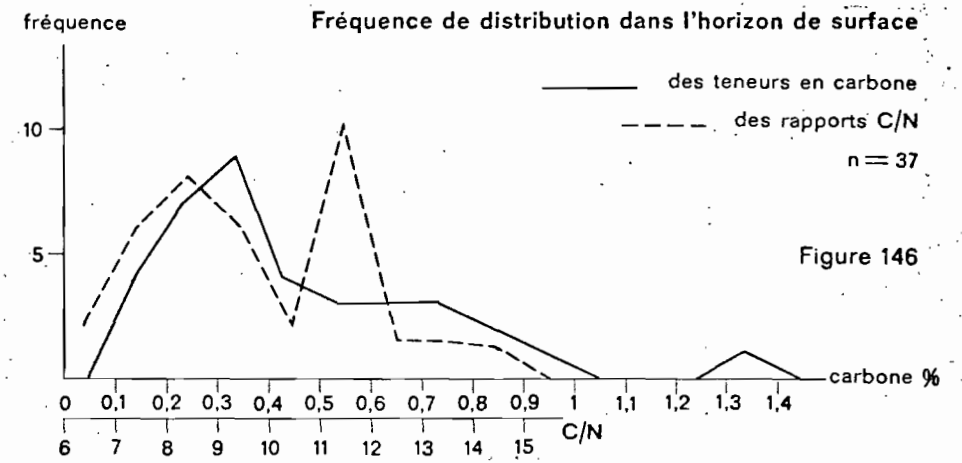
——— (0-20 cm)

– – – (100 cm)

+++++ de l'indice de lessivage

n = 37

Figure 145



Fréquence de distribution dans l'horizon de surface

——— des teneurs en carbone

– – – – des rapports C/N

n = 37

Figure 146

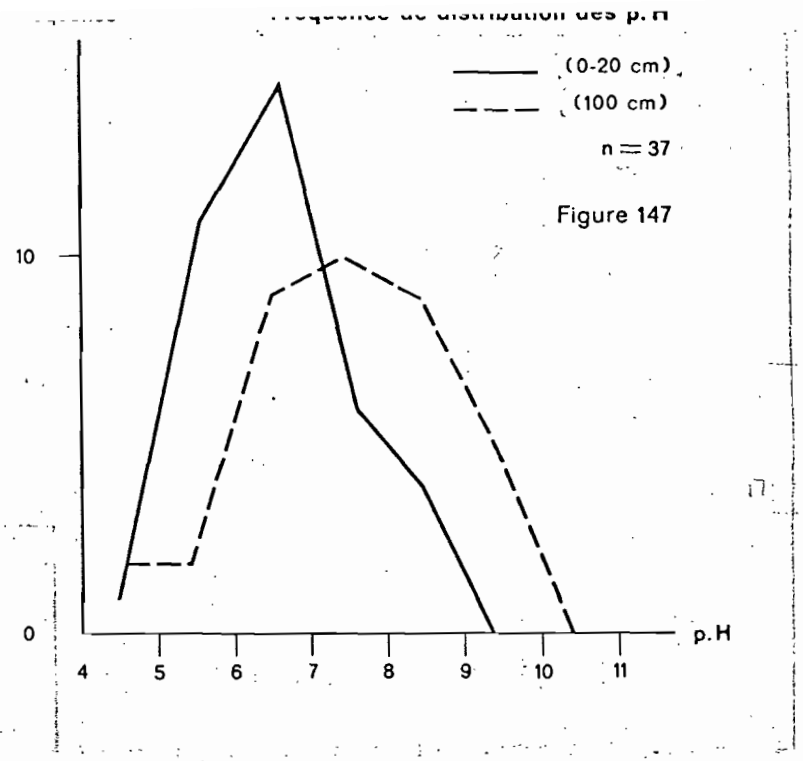


Figure 147

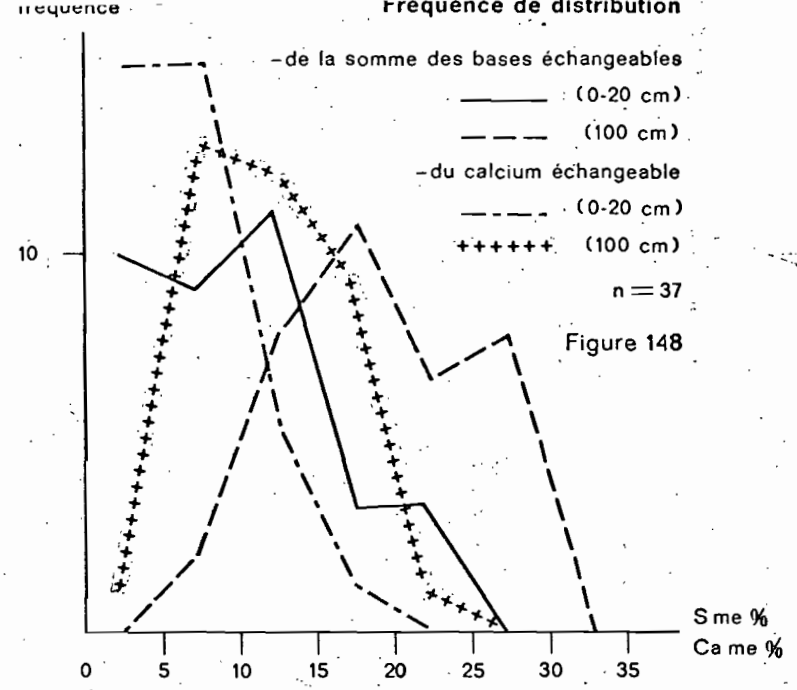


Figure 148

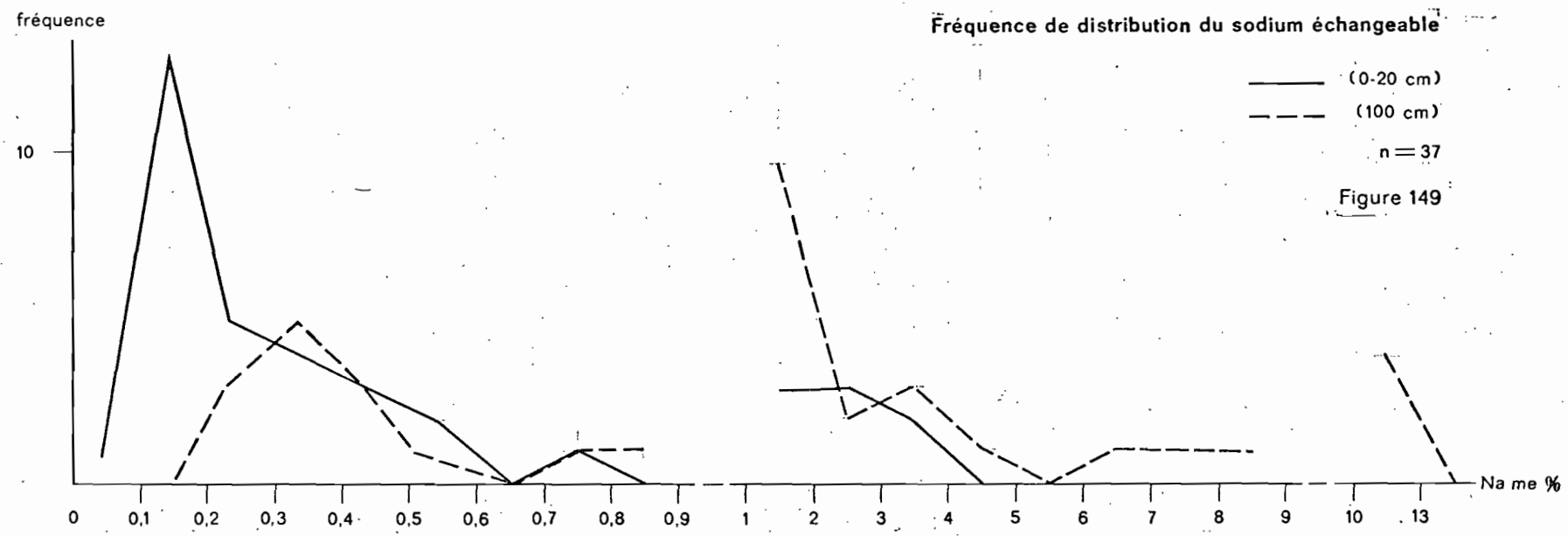


Figure 149

- groupe : à pseudo-gley
  sous-groupes: à taches et concrétions
  à alcalis, salé ou salé à alcalis.

La classification des sols des sous-groupes à alcalis, salés ou salés à alcalis, est discutable. Ils pourraient entrer dans la classe des sols halomorphes, sous-classe à structure non dégradée, groupe non lessivé.

- sous-groupes : peu salé à alcalis
  à alcalis.

Les sols argileux des dépressions à inondation temporaire, à profil A (B) C ou A (B)g C, à couleur, texture et structure identiques aux précédents sauf dans l'horizon supérieur parfois finement structuré, présentent des caractères hydromorphes moins marqués ou alors plus profondément. Ils le doivent à une inondation ou une submersion moindre et de plus courte durée. Dans leurs profils, se perçoivent d'autre part sur les éléments structuraux, des surfaces bosselées de glissement qui sont la marque des mouvements internes du sol liés aux phases de dessiccation et de réhumectation d'argiles où la montmorillonite est également importante. Ils diffèrent des précédents par leurs propriétés chimiques :

- taux de carbone légèrement plus faibles en surface;
- pH et degré de saturation plus élevés.

Ici, comme dans les sols précédents, il y a peu de différences morphologiques entre les types non halomorphes et les sols à caractères d'halomorphie, si ce n'est en sol sec une faible cohésion des éléments structuraux débités en petits polyèdres et parfois la présence de pseudo-mycelium ou de points blancs faisant effervescence à l'acide.

Ces sols entrent principalement dans la classe des vertisols.

- Sous-classe : vertisols topomorphes
- Groupes : . à début de structuration fine en surface
  . largement structuré dès la surface
- Sous-groupes : . modal
  . à caractères de salure. Ici encore, il conviendra de distinguer les sous-groupes suivants :
  - à alcalis
  - salé à alcalis.

Les sols argilo-sableux des dépressions ou des bordures de dépressions subissant une faible submersion ressemblent par leurs caractéristiques morphologiques et physico-chimiques aux sols de la série des "regs" ou aux sols des buttes formées sur la série fluvio-lacustre à nodules calcaires. Ils vont donc se grouper dans la classe des sols hydromorphes faisant souvent un intergrade vers les sols halomorphes ou bien franchement dans la classe des sols halomorphes à structure dégradée, lessivés à alcalis (solonetz ou solonetz solodisé).

7.2. LES SOLS AU NORD DU 13ème PARALLELE

Ils s'observent soit dans des interdunes très enserrés au milieu de formations sableuses (pourtour du lac Tchad jusqu'au cordon sableux vers l'Est), soit en surfaces planes plus étendues, très érodées et localement recouvertes par des formations éoliennes (ergs, barkhanes), notamment dans la dépression du Borkou.

Dans la première région donnée, des types variés de sols se distribuent en fonction de la topographie. Dans la seconde, cette dernière intervient peu.

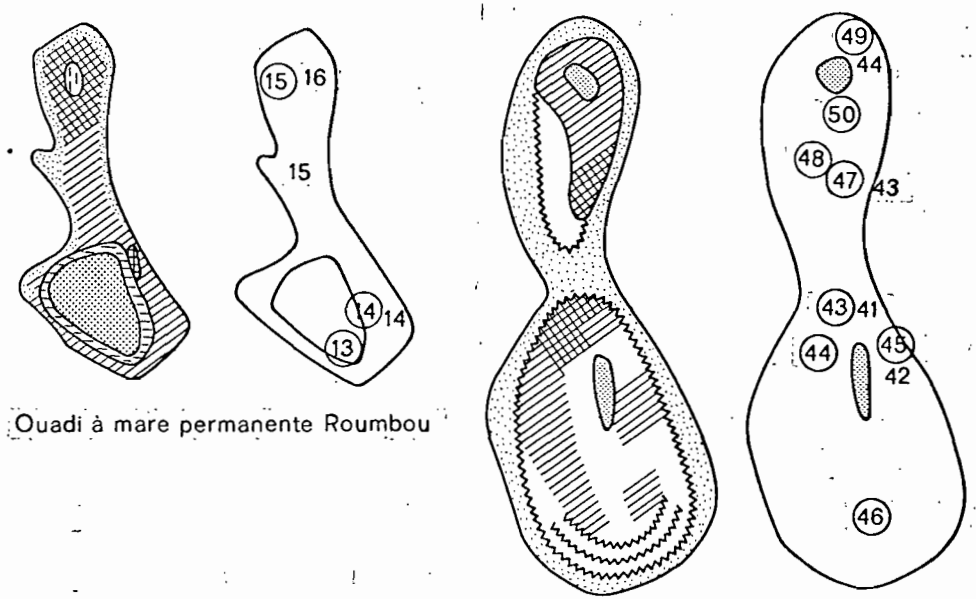
Dans les deux cas, les sols se sont formés sur des dépôts lacustres de texture le plus souvent limono-argileuse ou argilo-limoneuse qui ont évolué différemment en fonction de leur position topographique et de la présence de nappe phréatique plus ou moins proche.

7.2.1. Sols des ouadis du Kanem

La figure 150 représente des interdunes, appelées localement ouadis. Elle a été prise dans la région de Mao au nord du lac Tchad. Les résultats analytiques ci-après montrent l'hétérogénéité existant sur ces deux surfaces restreintes, tant dans le sol que dans la salinité de l'eau de la nappe

Sols de la série lacustre (N. du 13e parallèle)

Ouadis du Kanem



Ouadi à mare permanente Roumbou

Ouadi à nappe peu profonde

Partie natronées peu importantes

Légra

LÉGENDE

- Mare permanente.
- Tyha australis.
- Zone stérile très fortement salée.
- Sporobolus sp. Sol salé.
- Palmeraie avec culture de blé.
- Palmeraie sans culture associée.
- Jardin : bananiers, papayers, citronniers, kapokiers...
- Partie sans végétation

} Sol faiblement salé.

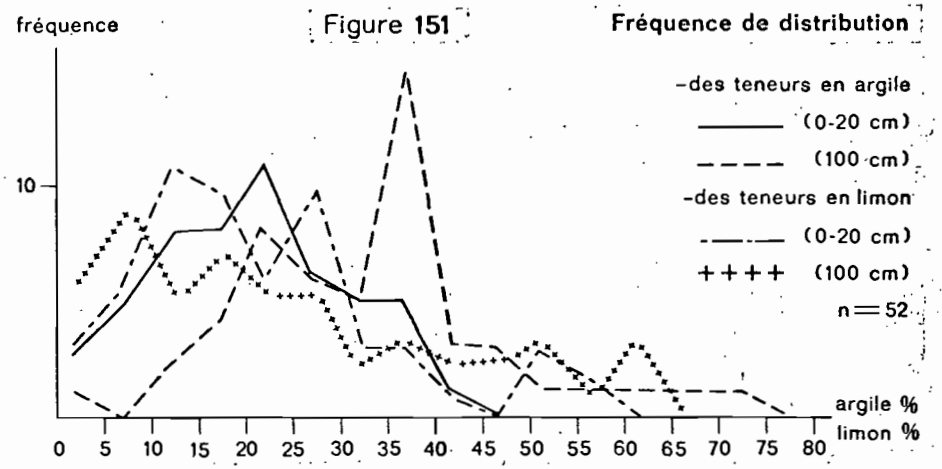
- Sable avec affleurements de limon blanc calcaire tendant à former des encroûtements.
- Hyphaene thebaïca et repousses en couronne sur le pourtour.
- (13) Prélèvement d'eau.
- 13 Prélèvement de sol.

Échelle

0 — 1 km

Figure 150

Figure 151



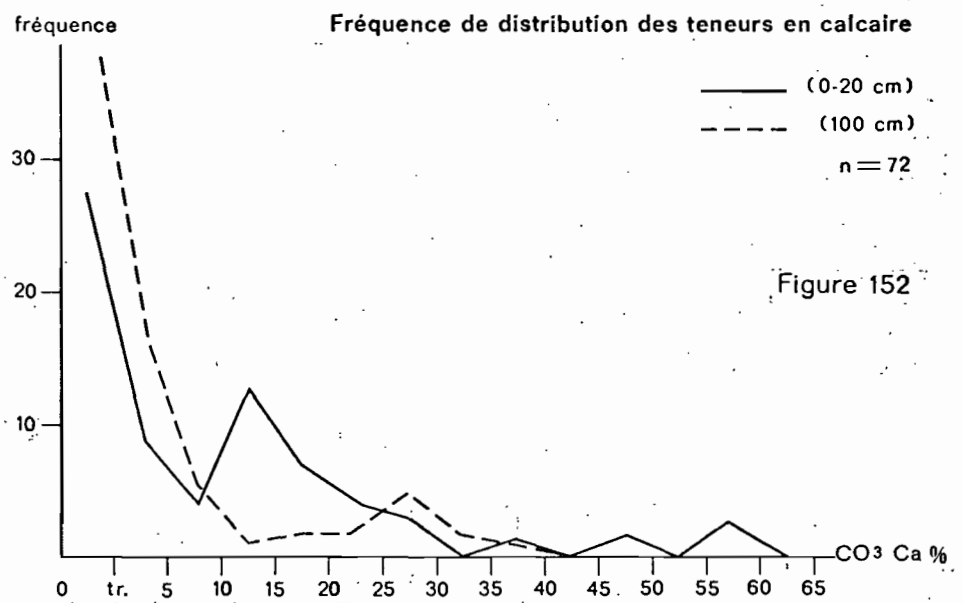


Figure 152

Prélèvements de sols

Echantillons	Prof. en cm	pH	CO_3Ca %	Carbone %	Extrait de saturation C à 25°
Ouadi de Roumbou					
141	0-20	8,1	11,5	1,74	4,45
142	40-60	7,5	0	-	1,50
151	0-20	7,4	6,4	2,44	2,95
152	50-70	9,1	0	-	3,15
161	0-20	7,4	8,3	3,75	4,00
162	40-60	7,4	1,6	-	1,65
163	80-100	9,6	0	-	3,25
Ouadi de Légra					
411	0-20	8,1	11	1,95	2,20
412	40-60	7,8	0	-	6,50
421	0-20	8,9	0	1,44	39,00
422	50-70	8,5	0	-	30,80
431	0-20	7,9	14	2,12	5,10
432	50-60	8 0	4	-	4,50
441	0-20	8,7	18	2,78	32,50
442	40-60	8,6	5	-	16,20
443	80-100	8,4	0	-	6,90
444	110-130	8,8	1	-	7,30

Prélèvements d'eau

Echantillons	Prof.de la nappe en cm	Conductivité en millimhos à 25°
Ouadi de Roumbou		
13	mare perm.	12,80
14	60	0,55
15	70	0,30
Ouadi de Légra		
43	220	0,45
44	120	0,30
45	90	30,50
46	200	0,25
47	320	0,25
48	280	0,20
49	130	10,50
50	5	0,35

7.2.1.1. Morphologie

Le premier profil possède seulement un horizon supérieur légèrement salé.

Mao 3 Ouadi de Kalala (région de Mao)

Pluviométrie moyenne annuelle : 300 mm.
Topographie : en bordure de la dune.
Végétation : palmeraie.
Nappe phréatique à 95 cm .

0 - 20 cm : noir, humifère (2,5 Y 3/0), sableux à sablo-limoneux, polyédrique assez fin, peu compact, cohésion moyenne.

20 - 40 cm : gris-blanc (2,5 Y 6,5/0), argilo-limoneux, légèrement feuilleté, polyédrique moyen peu compact, cohésion moyenne.

40 - 80 cm : blanc (2,5 Y 8/0), traînées rouille à partir de 70 cm, donnant un aspect panaché, texture, structure, compacité, cohésion identiques à l'horizon précédent. Légèrement humide.

80 - 100 cm : gris de gley (5 Y 6/1) très humide, plastique, argilo-limoneux.

L'enracinement se développe normalement jusqu'à 70 cm, il est nul en dessous.

Les deux autres profils prélevés dans la même région sous des pluviométries identiques, sont fortement salés et présentent des accumulations importantes de CO_3Ca.

Mao 33 Ouadi de Tiona (région de Mao)

Végétation : rares palmiers par taches. Quelques cultures de blé irriguées au chadouf.
Nappe phréatique à 450 cm.

0 - 20 cm : gris (2,5 Y 4,5/0), sablo-argileux à sablo-limoneux, pulvérulent.

20 - 70 cm : brun (2,5 Y 5,5/2), sablo-argileux à sablo-limoneux, avec abondant pseudo-mycelium blanchâtre faisant effervescence à l'acide entre 50 et 70 cm, polyédrique moyen à fin, peu compact, faible cohésion.

70 - 100 cm : brun (2,5 Y 5,5/2) panaché de blanc (2,5 Y 8/0) faisant effervescence à l'acide, identique à l'horizon précédent mais polyédrique moyen.

100 - 150 cm : blanc (2,5 Y 8/0) limono-argileux, polyédrique moyen, plus compact, à plus forte cohésion.

150 cm ... : blanc à taches rouille d'hydromorphie, identique à l'horizon 100-150 cm.

Mao 49 Ouadi de Youlou (région de Mao)

Zone stérile sans végétation.
Nappe phréatique non atteinte à 250 cm.

0 - 1 cm : blanc (5 Y 7,5/2) blanc jaunâtre (5 Y 7,5/4) pellicule se desquamant facilement et boursouflée.

1 - 120 cm : olive (5 Y 5/4) argilo-limoneux, polyédrique moyen jusqu'à 60 cm puis progressivement humide et plastique. Dans la partie légèrement humide, le débit se fait en polyèdres moyens à fins aux arêtes vives. Compacité et cohésion faibles à moyennes jusqu'au niveau plastique.

120 - 150 cm : noir (5 Y 3/1 - 4/1) argilo-limoneux, très humide, plastique. Forte odeur sulfureuse.

7.2.1.2. Caractères analytiques des profils Mao 3 - 33 - 49

Tableau XXVII

7.2.1.3. Caractères analytiques généraux

Nous distinguerons d'abord :

a - Les sols des fonds d'ouadis à nappe généralement peu profonde (2 à 3 m) qui sont les plus répandus. Ceux-ci sont caractérisés par :

- un horizon superficiel A_1 qui peut être :
  . humifère, polyédrique moyen à fin;
  . encroûté de quelques millimètres à 1 ou 2 cm, lamellaire, friable, se desquamant facilement, partant en plaques de plusieurs décimètres carrés. Sa coloration est blanche (5 Y 7,5/2), blanc jaunâtre (5 Y 7,5/4);
  . pulvérulent parfois sur 20 à 40 cm, les actions éoliennes l'érodent facilement. Il est de coloration gris-blanc à blanc (2,5 Y 4,5/0 à 8/0).

Ces deux dernières variantes de A_1, qui sont le résultat d'une exudation saline, sont parfois riches également en CO_3Ca.

- un horizon intermédiaire B_1, à pseudo-mycelium ou non où la salinité peut être encore élevée. Il est à structure polyédrique moyenne, assez peu compact et à faible cohésion. Légèrement humide, son débit se fait en polyèdres fins à moyens aux arêtes vives. Sa coloration est variable, gris-brun à brun (2,5 Y 4/2 - 6/2) passant progressivement à blanc (2,5 Y 8/0) ou bien olive (5 Y 5/4 - 5/6 - 6/6 ...) souvent dans le cas des sols salés à croûte squameuse;

- un horizon profond (Bg, B G) le plus souvent à gley vers 80 à 100cm. Cet horizon est généralement très humide et plastique. Sa coloration est variable : gris clair (5 Y 6/1), noirâtre (5 Y 3/1 - 4/1), bleuté (5 G 6/1), verdâtre (5 G 6/2) ... Il s'en dégage une forte odeur sulfureuse;

- l'horizon C suivant la profondeur du profil se confond avec l'horizon B_1 ou B G.

b - Dans les ouadis à nappe profonde (4 à 5 m), l'horizon blanc (2,5 Y 8/0) peut être particulièrement épais et précéder un horizon à pseudo-gley à taches et points rouille sur fond blanc, lui-même suivi d'un horizon à gley. Sur les bords des ouadis, au contact de la dune, l'horizon blanc apparaît en surface, il est souvent à encroûtement calcaire.

c - Des terrasses marquant d'anciennes lignes de rivage de lac s'observent au nord du 13° où elles constituent les replats de certaines dunes où une fine sédimentation lacustre s'est déposée là. On les voit aussi au nord de Fort-Lamy. Les sols de terrasses vont présenter un profil A B_{Ca} C avec :

A_1A_2 sableux beige (10 YR 7/3) appauvri en argile, particulaire.

B se subdivisant en :

. B_1 gris-noir (10 YR 3/1 - 2,5 Y 3/0) polyédrique ou parfois à structure cubique ou en colonnettes sur 20 à 40 cm. Très compact, à forte cohésion;

. B_2(Ca) gris-noir plus clair (10 YR 5/2), gris-beige, gris-brun (2,5 Y 5/2) à points blancs ou fin pseudo-mycelium et taches rouille d'hydromorphie plus ou moins visibles. Structure polyédrique moyenne avec débit en petits polyèdres. Très compact, cohésion faible.

C correspond généralement à un changement de matériau (sable ou argile feuilletée).

L'horizon supérieur A_1A_2 fait souvent défaut, B_1 apparaît en surface en plages discontinues.

Les teneurs en argile dans tous ces sols sont très variables d'un profil à un autre et parfois dans un même profil (figure 151) :

- en surface (0 à 45 %) avec un maximum entre 20 et 25 % dans les ouadis;
- en profondeur (0 à 75 %) avec un maximum entre 35 et 40% dans les ouadis).

Il y a très souvent une augmentation de la teneur en argile en profondeur.

Les sols des ouadis sont généralement très épais (plusieurs mètres); à l'inverse, ceux des terrasses atteignent à peine le mètre. Au nord de Fort-Lamy, ils dépassent rarement 30 à 40 cm, reposent sur des sables et sont peu argileux (15 à 20% à cette profondeur pour souvent moins de 5% en surface). Les sols des terrasses présentent un horizon superficiel sableux discontinu qui masque l'horizon noirâtre sous-jacent. Il est difficile de dire ici s'il est le résultat d'un lessivage oblique de l'argile ou d'un apport de sable en provenance de la dune voisine.

Les teneurs en limon sont élevées, comprises entre 0 et 65%. Le groupement est meilleur en surface (figure 151). Les sols des terrasses en ont assez peu.

Tous ces sols ont, dans leur ensemble, une mauvaise structure et perméabilité.

Ils contiennent des quantités importantes de CO3 Ca (0 à 65%). Les terrasses présentent les plus faibles teneurs (0 à 5%). Les taux les plus élevés sont observés en surface dans les sols d'ouadis et diminuent assez fortement en profondeur (figure 152).

Les teneurs en carbone sont beaucoup plus faibles (0 à 1%) dans les sols des terrasses que dans les sols d'ouadis (0 à 5,5 % avec un maximum entre 0,5 et 3,5%). Les sols salés ne se distribuent pas de manière particulière. Il en est de même pour les rapports C/N. Ceux-ci sont les plus bas dans les sols de terrasses, 7 à 9 et 10 à 12, tandis que les sols d'ouadis se concentrent entre 9 et 14 avec un maximum entre 12 et 13 (figure 153).

Dans les sols des ouadis, la matière humique totale représente moins de 10% du carbone total en surface. Elle est parfois plus importante en profondeur où les acides fulviques dominent plus largement (60%), les acides humiques gris sont plus abondants en surface (35 à 40%) qu'en profondeur (15 à 20%).

Les pH sont élevés dans les deux cas (sols de terrasses et d'ouadis), principalement compris entre 7 et 9 en surface, entre 7 et 10 en profondeur. Il y a généralement une augmentation des pH avec la profondeur. On note dans certains horizons profonds des pH très bas (figure 154).

Les valeurs de S et T sont difficilement déterminables dans la plupart des sols qui sont calcaires, même quand les teneurs en CO 3 Ca sont très faibles (traces ou inférieures à 1%). La figure 155 montre les valeurs très diverses de S que l'on observe dans les sols où CO3 Ca est absent, principalement des sols de terrasses. Ca, dans ces mêmes sols, présente des teneurs variables échelonnées entre 0 et 25 me %.

Les valeurs de Mg sont assez diversement réparties de 0 à 11 me %. En profondeur, dans les sols halomorphes, on assiste à une forte diminution

des taux de Mg qui sont parfois inférieurs à 0,2 me %.

Les taux de K varient entre 0 et 4 me % en surface, 0 et 8 me % en profondeur. D'une façon générale, en profondeur, on assiste à une baisse plus ou moins accusée des valeurs. Quelques hausses peuvent être aussi observées.

Na échangeable a des valeurs souvent très élevées, comprises : en surface, entre 0 et 12 me % (45% environ entre 0 et 1 me %); en profondeur, entre 0 et 53 me % (25% entre 0 et 1 me %). Il y a une très forte augmentation de sodium échangeable en profondeur. Les sols des terrasses présentent les valeurs les plus fortes, tandis que les sols des ouadis en ont parfois peu, bien que beaucoup plus salés (Na soluble) - Figure 156.

Les rapports Na/Ca échangeables % que nous possédons sont surtout ceux de sols non calcaires (sols de terrasses). Ils sont très élevés en profondeur. Parmi ceux-ci, certains ont une conductivité supérieure à 4 millimhos. Ce sont toujours les horizons profonds les plus salés.

A l'inverse, les sols des ouadis ont des conductivités qui diminuent avec la profondeur. L'horizon supérieur est surmonté d'une pellicule saline qui peut dépasser 100 millimhos. Les sels solubles sont à dominance de SO_4Na_2 ou de CO_3Na_2. Tableau 59 en annexe.

L'analyse totale triacide indique des rapports SiO_2/Al_2O_3 souvent très élevés en surface, tant dans les sols que dans la fraction colloïdale (échantillon Mao 151). Tableau 60 en annexe.

L'examen aux rayons X de la fraction colloïdale associé à l'analyse révèle dans l'échantillon Mao 151 l'abondance de fines poussières de quartz (50 à 55% environ), la partie restante étant constituée par de la montmorillonite, un peu de kaolinite, 4 à 5% de calcite. Un autre échantillon Mao 22 donne des résultats analogues (figure 129).

Les teneurs en fer total et fer libre sont souvent très faibles dans les horizons supérieurs des sols fortement salés. Il se produit dans ces profils une migration de la matière humique sous forme d'humates solubles. Le fer migre en même temps à l'état de complexe organique et va s'accumuler en profondeur où il se mêle à la nappe fortement colorée en brun.

Les sols des ouadis sont caractérisés par un profil AC ou A (B) C :

A_1 - humifère gris-noir, polyédrique;
- encroûté sur quelques millimètres à 1-2 cm; blanchâtre, salin;
- pulvérulent (20 à 40 cm) blanc ou gris-blanc, salin ou salin calcaire.

(B_1) à pseudo-mycelium ou non, pouvant être salin ou salin calcaire, gris-brun, brun, gris-blanc, blanc olive ... polyédrique moyen, peu compact, à faible cohésion.

$(B_2)g$ $(B_2)G$ à pseudo-gley ou à gley, gris, vert bleuté, ... plastique. Il est plus ou moins profond suivant la hauteur de la nappe.

C confondu avec (B_1) ou (B_2).

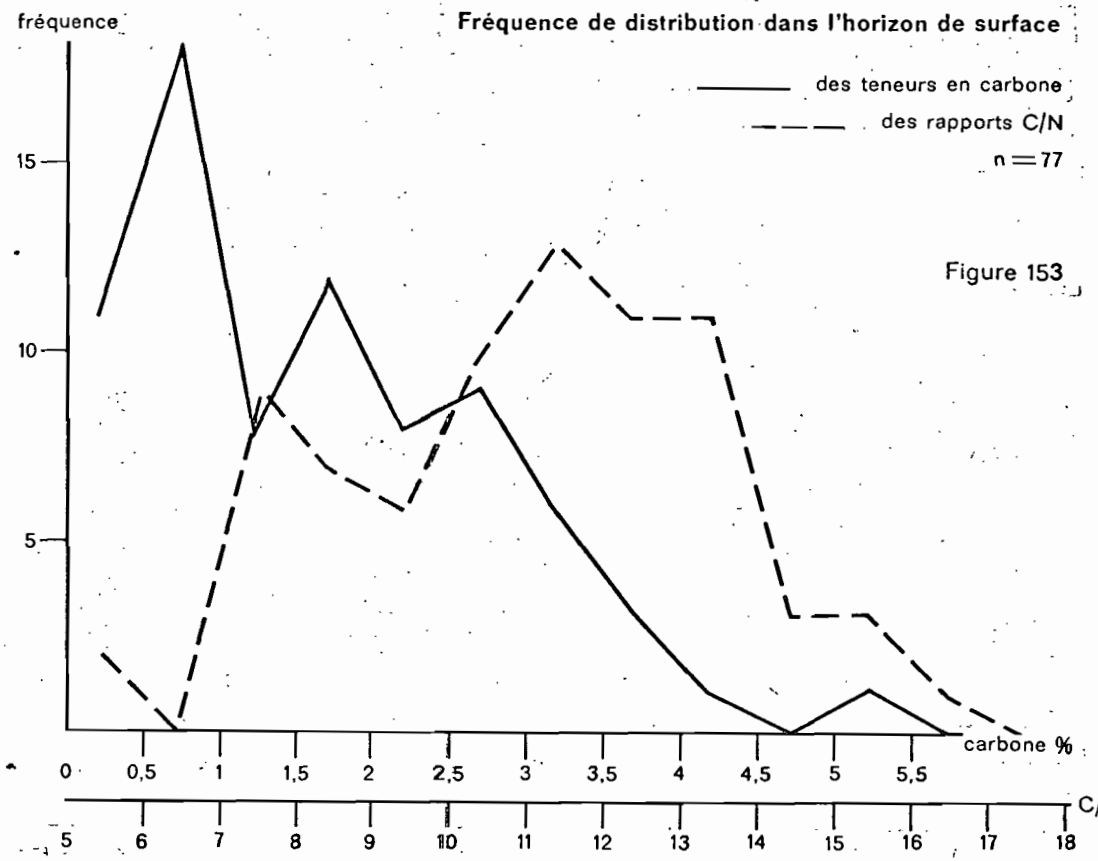


Figure 153

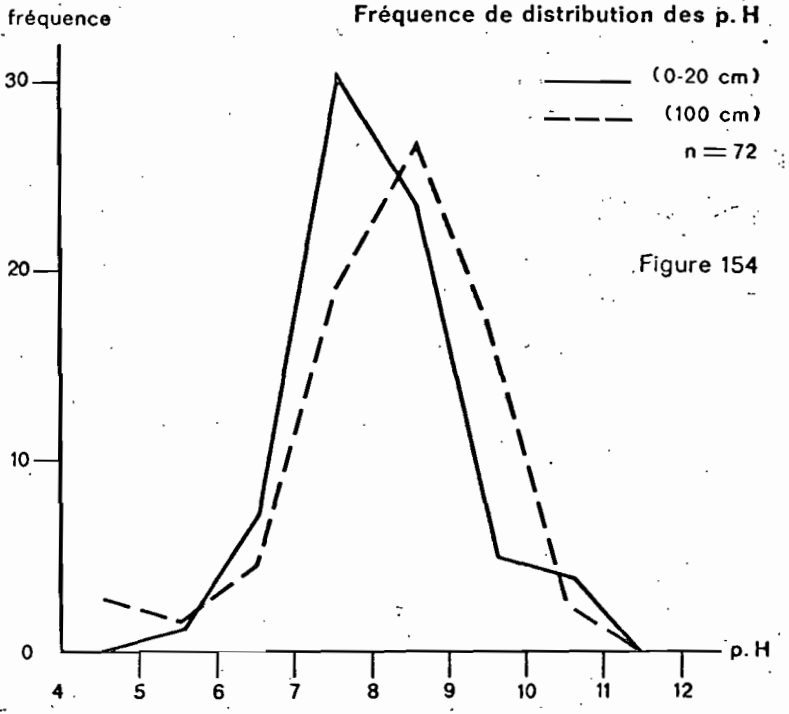


Figure 154

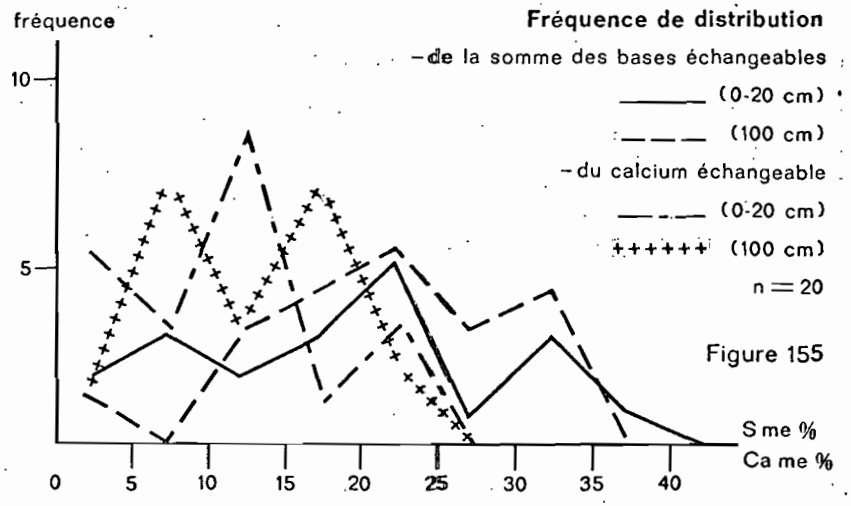


Figure 155

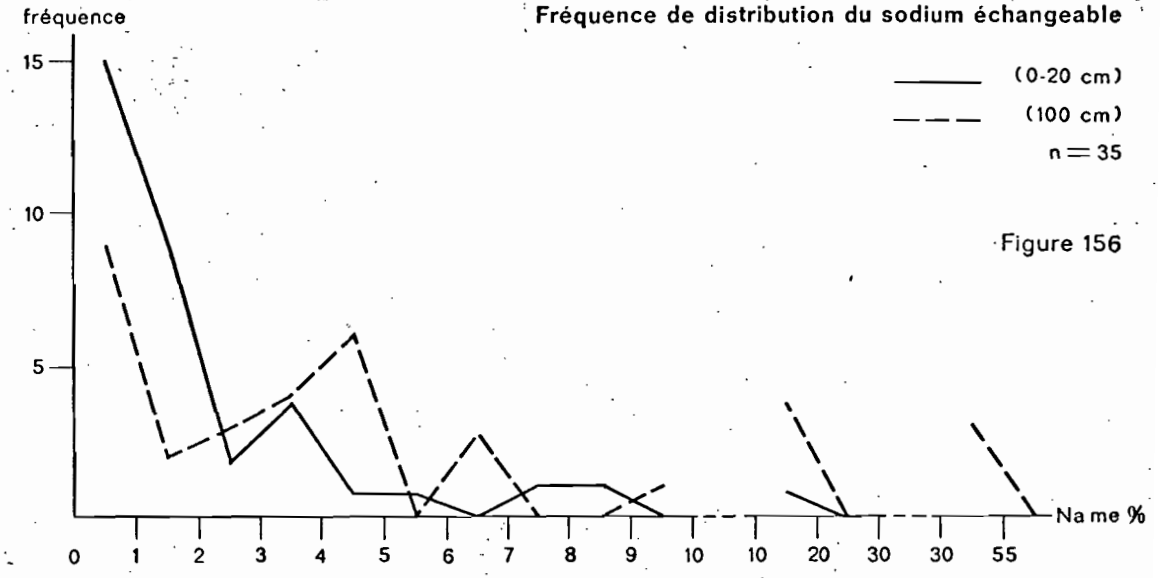


Figure 156

Ces sols peuvent entrer dans plusieurs classes :

- pour des conductivités très inférieures à 4 millimhos :

  - Classe : sols peu évolués
  - sous-classe : sols peu évolués d'origine non climatique
  - groupe : sols peu évolués d'apport
  - sous-groupes : hydromorphe à gley ou pseudo-gley (1)
    : faiblement salé ou alcalisé.

  - Classe : sols hydromorphes
  - sous-classe : sols hydromorphes minéraux
  - groupe : sols hydromorphes à gley
  - sous-groupe : faiblement salé ou alcalisé.

  - Groupe : sols hydromorphes à pseudo-gley
  - sous-groupe : faiblement salé ou alcalisé

  - groupe : sols hydromorphes minéraux à redistribution du calcaire
  - sous-groupe : à encroûtement calcaire, parfois faiblement salé ou alcalisé.

- pour des conductivités supérieures à 4 millimhos :

  - Classe : sols halomorphes
  - sous-classe : sols halomorphes à structure non dégradée
  - groupe : sols salins
  - sous-groupes : à hydromorphie de nappe (salin)
    . à encroûtement salin superficiel
    . à horizon superficiel friable
    : à hydromorphie de nappe (salin et calcaire).

Les sols des terrasses ont un profil parfois AC, mais souvent AB_{Ca} C à :

A_1A_2 appauvri en argile particulaire, beige. Parfois absent.

B_1 plus argileux et limoneux, gris-noir, structure variable (polyédrique, cubique ou colonnettes). Compact, forte cohésion.

B_{2Ca} gris-beige, gris-brun à pseudo-mycelium et légère hydromorphie, texture identique à B_1, polyédrique moyen, compact à faible cohésion.

C autre matériau (sable ou argile feuilletée), AB parfois peu épais atteignant 30 à 40 cm.

Les sols à profil AC appartiennent à la classe des sols isohumiques.

- sous-classe : sols isohumiques à complexe saturé
- groupe : sols bruns subarides
- sous-groupe : faiblement salés ou alcalisés.

---

(1) L'hydromorphie apparaît alors à plus de 40 cm de la surface

Les sols à profil A B C entrent dans la classe des sols halomorphes.

- sous-classe : sols halomorphes à structure dégradée
- groupe : lessivé à alcalis
- sous-groupes : . structure en colonnettes, solonetz
  . structure en colonnettes avec horizon A_2 B_1 blanchi, solonetz solodisé
  . structure massive.

7.2.2. Sols de la dépression du Borkou

7.2.2.1. Morphologie

Dans la dépression du Borkou, les sols sont beaucoup plus homogènes que précédemment. Nous en décrirons un type moyen.

Profil L 118

Localisation : Largeau. 17°55 de latitude nord - 19°05 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 26,7 mm.

Végétation : pépinière de palmiers dattiers.

Apport éolien de sable.

Drainage : apparemment bon. La nappe peu profonde fait résurgence dans une partie de la pépinière déterminant un écoulement très localisé.

0 - 2 cm : débris d'argile limoneuse blanche (2,5 Y 8/2) et de sable beige clair (2,5 Y 8/3) apporté par le vent.

2 - 60 cm : gris-blanc (5 Y 7/2), finement stratifié, argilo-limoneux, cubico-polyédrique moyen, compacité moyenne, cohésion assez faible, porosité tubulaire bien développée. Des fentes de retrait existent, elles sont plus ou moins comblées par du sable.

60 - 140 cm : gris-blanc (5 Y 7/2) à gris verdâtre (5 Y 6/3) argilo-limoneux, les stratifications et la structure sont moins nettes. Petits blocs cubico-polyédriques durcis dans un ensemble assez massif. Cohésion des éléments structurés faible.

140 - 180 cm : gris-blanc, gris verdâtre à veines noirâtres (5 Y 3/1 - 2/1) correspondant à un niveau de racines en voie de décomposition, puis gris-bleu (5 G 6/1), bleu-vert (5 G 6/2) passant à grisâtre (5 Y 5/1) argilo-limoneux, plastique, très humide d'où sourd lentement l'eau.

vers 2 m : sable ou grès. La nappe remonte rapidement dès que l'on a atteint ce niveau.

Nous rappellerons ici que la nappe a des conductivités faibles, le plus souvent inférieures à 1 millimho (600 mg/l) et que celle des forages profonds et des sources a des salinités encore plus faibles, 0,1 millimho (60 mg/l).

Ce type classique est fréquemment recouvert par du sable, parfois de cailloutis gréseux.

Ces sols se présentent en vastes surfaces planes ou constituent des étendues à multiples monticules de 1 à 2 m de haut que le vent a découpés. L'aspect général est désolé, sans aucun arbre, à peine observe-t-on dans quelques rares endroits humides une strate herbacée composée de Desmotachys bipinnata, Geigeria alata. Cette dernière, indice d'eau proche, donne aux zones soumises au vent un aspect caractéristique de buttes moutonnantes en retenant le sable par son système végétatif.

La végétation se concentre sur ces sols dans les parties abritées du vent, là où une nappe proche de la surface favorise son développement. Elle se compose d'Acacia raddiana, Acacia Sieberiana, Capparis decidua, Maerua crassifolia, Salvadora persica, Tamarix sp., Hyphaene thebaica, qui accompagnent le palmier dattier, arbre essentiel de ces premières oasis.

7.2.2.2. Caractères analytiques des profils L 118 - L 5 - L 119

Tableau XXVIII

7.2.2.3. Caractères analytiques généraux

Ces sols présentent un horizon humifère A_1 qui se différencie souvent mal des horizons sous-jacents, si ce n'est par sa couleur légèrement plus grisâtre. Les horizons (B) sont blancs à gris-blanc (2,5 Y-5 Y 7/2 - 7/1 - 8/2 - 8/1) ou gris verdâtre (5 Y 6/3 - 6/4 - 7/4). Les horizons A_1 et (B) sont souvent calcaires. L'ensemble fait 1 m à 1,50 m. Nous passons en profondeur à un horizon de gley, gris (5 Y 6/1) bleuté (5 G Y 6/1 - 5 G 6/1) ou vert (5 G 6/2).

L'horizon supérieur a une structure cubique sur 20 à 40 cm. Il est marqué par de légères fentes de retrait souvent colmatées par des infiltrations de sable. La compacité est moyenne, la cohésion faible. La densité du matériau qui compose ces sols est très faible.

L'horizon sous-jacent est massif sans structure bien définie, à débit polyédrique, à faible cohésion.

Les horizons inférieurs sont plastiques. Les racines s'arrêtent avant ces derniers et leur forte concentration donne un niveau gris-blanc à veines noirâtres.

Ces sols sont généralement limono-argileux dans les horizons supérieurs, argileux, argilo-limoneux en profondeur.

Les teneurs en argile sont très variables :

- en surface : de 10 à 55 % (maximum entre 20 et 25 %)
- en profondeur : de 25 à 75 % (aucun maximum enregistré, mais teneur généralement supérieure à 40 %) - Figure 157.

Les taux de limon varient :

- en surface : entre 10 et 40 % (maximum entre 20-25 %)
- en profondeur : entre 10 et 50 % (maximum entre 30-35 %) Figure 157.

Du sable recouvre souvent superficiellement le sol. Ce sol a été apporté, soit par les autochtones à des fins de culture, soit par les vents. Ceci perturbe la granulométrie des horizons de surface. D'autre part, sur les surfaces dénudées, sans arbres, où l'action du vent se manifeste par une forte érosion, les grains et poussières de sables entraînés par celui-ci entament progressivement ces surfaces que nous retrouvons découpées parfois en une multitude de monticules. Les horizons supérieurs font alors défaut, d'où l'apparente disparité des teneurs observées tant en argile qu'en limon.

La fraction sableuse est parfois élevée en surface. Il s'agit de quartz arrondis, dépolis, typiquement éolisés. Dans les horizons profonds, elle est faible, généralement inférieure à 10 %.

Ces sols contiennent des taux peu importants de CO3 Ca rarement supérieurs à 15 %. Ces taux décroissent avec la profondeur et les horizons inférieurs ne sont pas calcaires. Le taux maximum est observé assez souvent vers 60 à 80 cm (figure 158).

Ces sols ont, dans leur ensemble, une mauvaise structure et des perméabilités faibles, exception faite pour les horizons de surface des jardins dont la terre rapportée est constituée de sable mêlé à l'horizon supérieur (profils 7 - 8 - 14 ... Figure 159).

Les teneurs en carbone sont faibles, comprises entre 0,1 et 0,5 % avec un maximum entre 0,1 et 0,3 %. Les rapports C/N sont bas, entre 2 et 8 (figure 160).

Les pH toujours alcalins, sauf dans de rares échantillons de profondeur, sont compris entre 7 et 10,5 en surface, entre 5 et 10,5 en profondeur. Les pH les plus élevés s'observent dans les sols salés (figure 161).

Les valeurs de S n'ont pas été déterminées dans la plupart des cas (sols calcaires). Tous les sols salés, à l'exception d'un seul, sont dans ce cas. En surface, en sols non calcaires, S est compris entre 20 et 25 me %.

Ca, pour ces mêmes sols non calcaires, a les valeurs suivantes :

- en surface : 10 à 15 me %
- en profondeur : 5 à 20 me %.

Mg a des valeurs très diverses qui augmentent en profondeur où dans les sols non salés, le maximum se situe entre 5 et 10 me %, tandis que dans les sols salés, Mg est très faible en surface, souvent inférieur à 1 me %. En profondeur, en même temps que la salinité diminue, les taux de Mg croissent.

K est le plus souvent supérieur à 1 me % et peut atteindre des valeurs très élevées, notamment parmi les sols salés tous supérieurs à 10 me % en surface, tandis que 50 à 60% seulement d'entre eux en profondeur sont supérieurs à ce chiffre. D'une façon générale, les taux les plus élevés sont donc notés en surface; il y a une diminution plus ou moins importante en profondeur (figure 162). Ces fortes teneurs en K sont sans doute liées à la nature de l'argile où l'illite est abondante.

Na a des valeurs également élevées qui diminuent rapidement en profondeur. 70% des sols salés ont des teneurs supérieures à 15 me % en surface, pour 60% supérieures à 10 me % en profondeur (figure 162).

Les rapports Na/Ca, Na/S, Na/T sont, ici, souvent non calculables (sols calcaires, sels solubles en quantités importantes).

Les teneurs en sels solubles sont plus élevées en surface qu'en profondeur. Ceux-ci sont souvent sous forme de carbonates ou de sulfates, de chlorures et également de nitrates en quantité parfois élevée (tableau 61 en annexe).

Les conductivités de l'extrait de saturation des sols salés se distribuent de la façon suivante : en surface, elles sont, le plus souvent, comprises entre 4 et 15 avec cependant parfois des chiffres très élevés (27 - 65 millimhos); en profondeur, elles sont comprises entre 0 et 8. On assiste à des baisses très brutales de la surface vers la profondeur.

Nous ouvrirons ici une parenthèse au sujet de ces sels solubles.

Les autochtones de la région de Largeau et également ceux des multiples petites palmeraies du B.E.T. (Aozou, Zouar, Bardaï, Ouanofou ...) utilisent comme engrais, à raison de un kilogramme au m2 (10 T/Ha) une exudation saline qu'ils ramassent à la surface de certains de ces sols.

Cet engrais, le "Tilli", se présente sous une couleur variée, brune, rouge, ocre, blanche ou noire. Il est mêlé à la terre sous-jacente sur laquelle il a été prélevé. L'apport de ce fertilisant conditionne, aux dires des autochtones, la récolte de blé, mil ... des cultures maraîchères et déterminerait des augmentations importantes de rendement. Cette exudation saline contient des sels solubles en très grande abondance, souvent à dominance de sodium en taux parfois très élevés. Ce "tilli" renferme également des quantités non négligeables de potassium, de Ca et de Mg. Les taux de P2 05 total, par contre, y sont faibles (tableau 62 en annexe).

Certains de ces "tillis" ont des teneurs importantes en C03 Ca.

Les anions sont à dominance de nitrates, de carbonates et de bicarbonates, les sulfates sont abondants, les chlorures variables.

La valeur de ce fertilisant est très diverse suivant son origine, proportionnelle aux taux de nitrates, inversement proportionnelle à ceux de sodium (carbonate et sulfate).

Le "tilli" de Largeau est excellent, constitué principalement d'un mélange de nitrate de sodium, de chaux, de magnésie, de potasse avec prédominance des trois premiers.

Celui de Kirdimi est moins bon. Celui de Digré est d'un emploi plus discutable; il s'agit d'une exudation saline où les nitrates n'entrent que pour 1/4 environ. L'origine de ces nitrates est inconnue. Ils ne sont observés qu'en ces régions. Il est permis de penser cependant qu'ils sont le résultat d'un processus complexe. Dans les sols salés à pH élevés par suite de la présence de CO3 Na2, les produits organiques migrent en profondeur sous forme d'humates de sodium solubles et vont rejoindre l'eau de la nappe avec laquelle ils se déplacent. Ils se concentrent dans les points bas où celle-ci est à faible profondeur et sont insolubilisés à la suite d'intenses phénomènes de remontée des solutions du sol. Ces humates seraient détruits ensuite par voie microbienne avec libération d'azote qui se recombinerait aux cations pour donner des nitrates.

L'examen de la fraction colloïdale de ces sols révèle une fraction quartzeuse importante (20 à 35%), un peu de calcite et dans la partie restante une association de montmorillonite - illite - kaolinite où les deux premières dominent (illite 40 à 50 % - montmorillonite 25 à 35 % - kaolinite 15 à 35 %). Des produits amorphes (silice colloïdale) sont également vraisemblables au vu des rapports Si O2/Al2 O3 très élevés. Deux explications sont valables pour faire accepter l'importance de la fraction quartzeuse et la présence de silice amorphe :

- 1. Le fait qu'il s'agit de sédiments diatomitiques où les tests sont nombreux.
- 2. Le fait d'une formation lacustre déposée en milieu aride ou semi-aride avec un régime de vents soufflant des déserts apportant des brumes sèches constituées de fines poussières quartzeuses.

Les caractéristiques les plus importantes de ces sols, outre leur texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, leur coloration très claire, la présence fréquente de gley en profondeur, la mauvaise structure et faible perméabilité :

- la valeur de l'extrait de saturation souvent élevée principalement en surface et qui diminue en profondeur;
- des fortes teneurs de K et Na échangeables;
- une fraction colloïdale où les quantités de quartz et silice amorphe sont importantes, tandis que domine l'illite associée à la montmorillonite et à la kaolinite.

Ils sont de type A C ou A (B) C ou A (B)G C avec un horizon A peu différencié de (B), à peine légèrement plus coloré et un horizon profond à gley.

Ces sols entrent dans deux classes différentes.

Les sols à conductivité inférieure à 4 millimhos appartiennent à la classe des sols peu évolués.

Dépression du Borkou

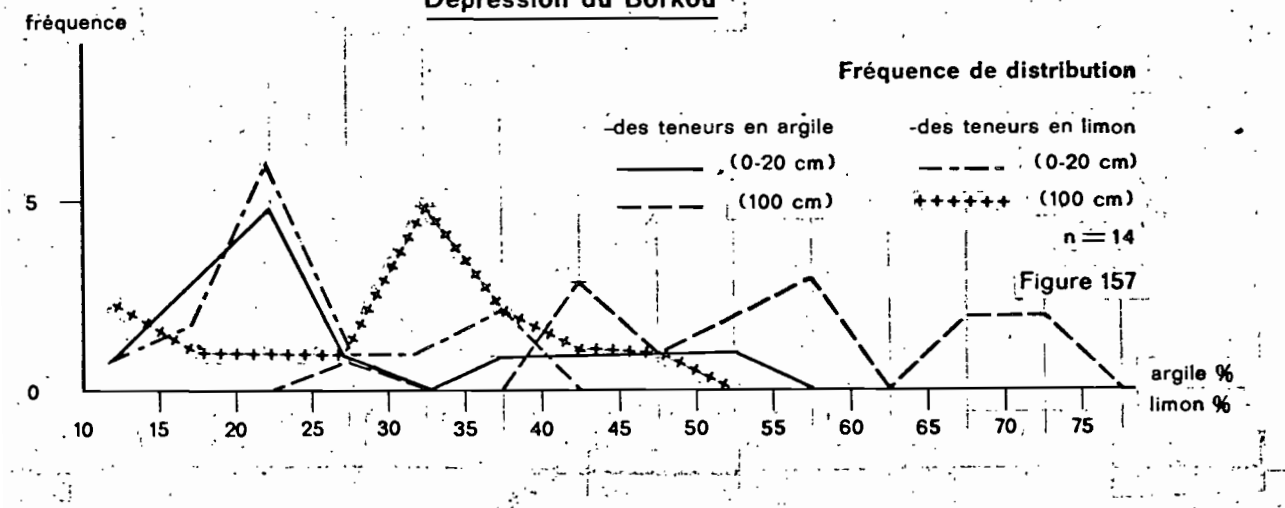


Figure 157

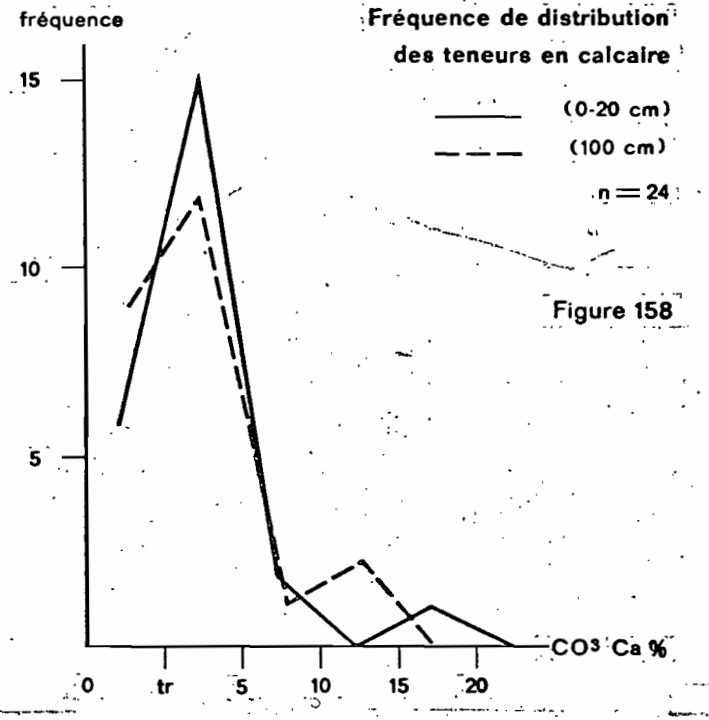


Figure 158

Représentation graphique de la stabilité structurale

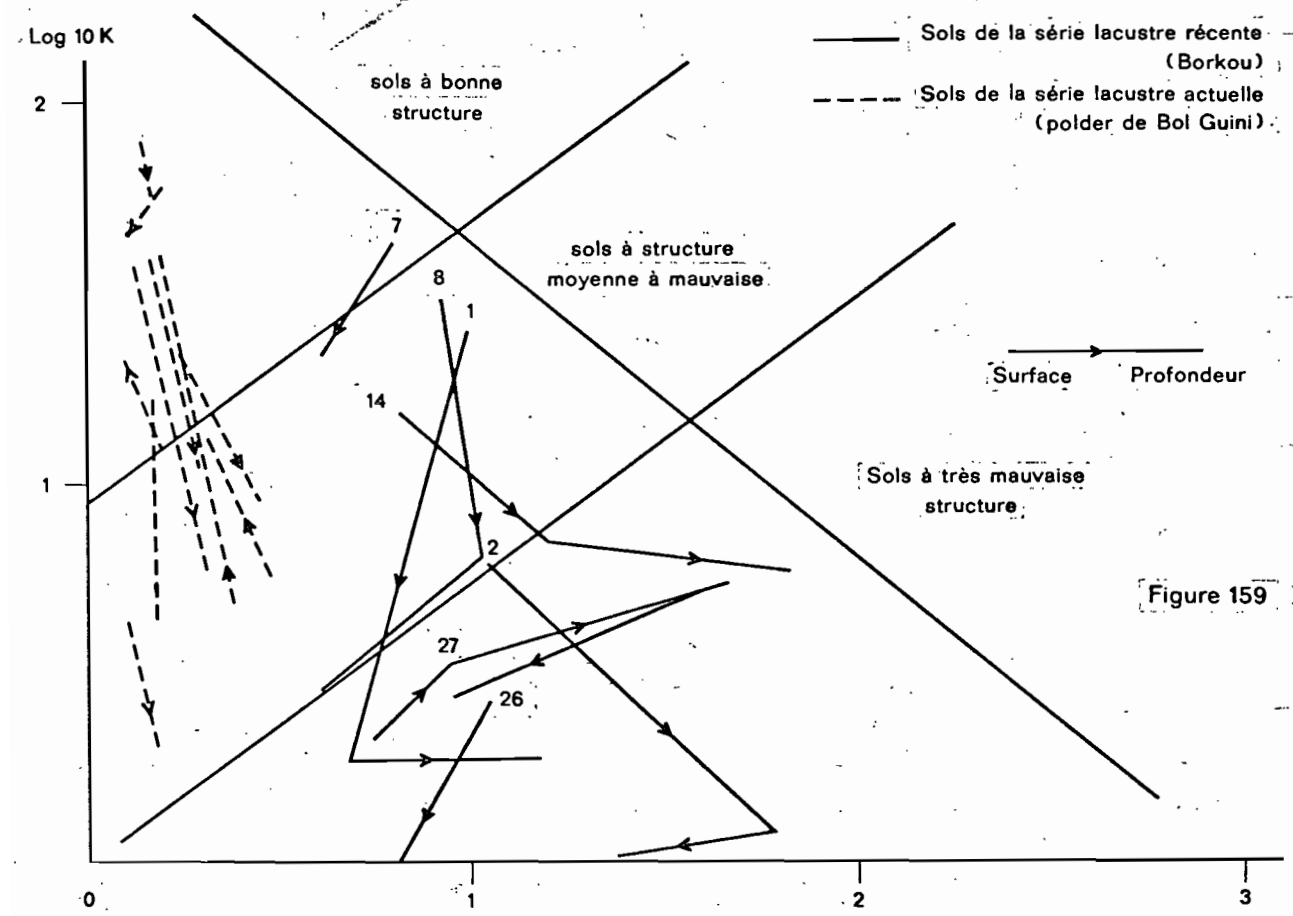


Figure 159

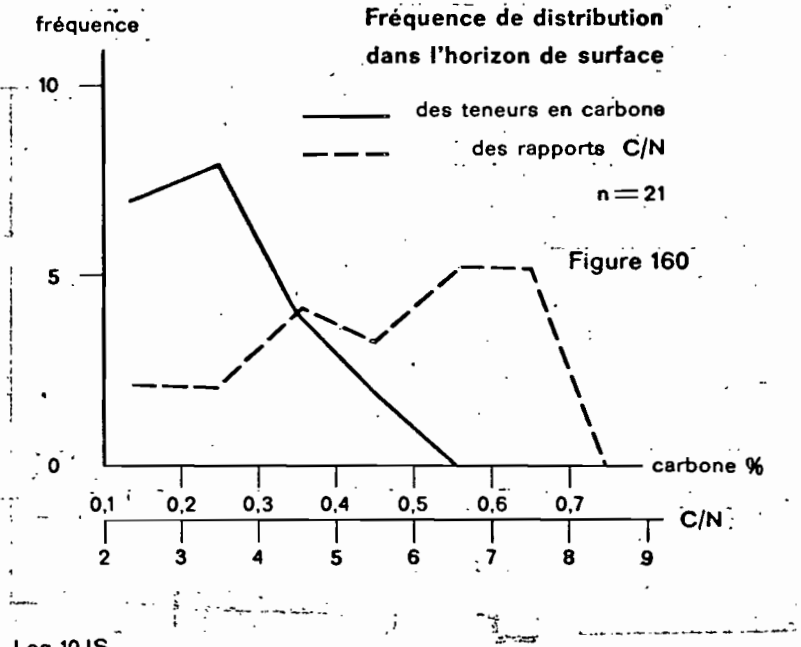


Figure 160

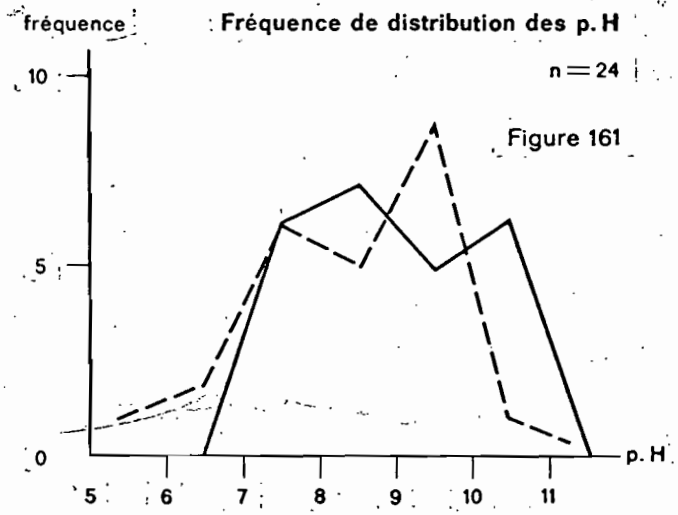


Figure 161

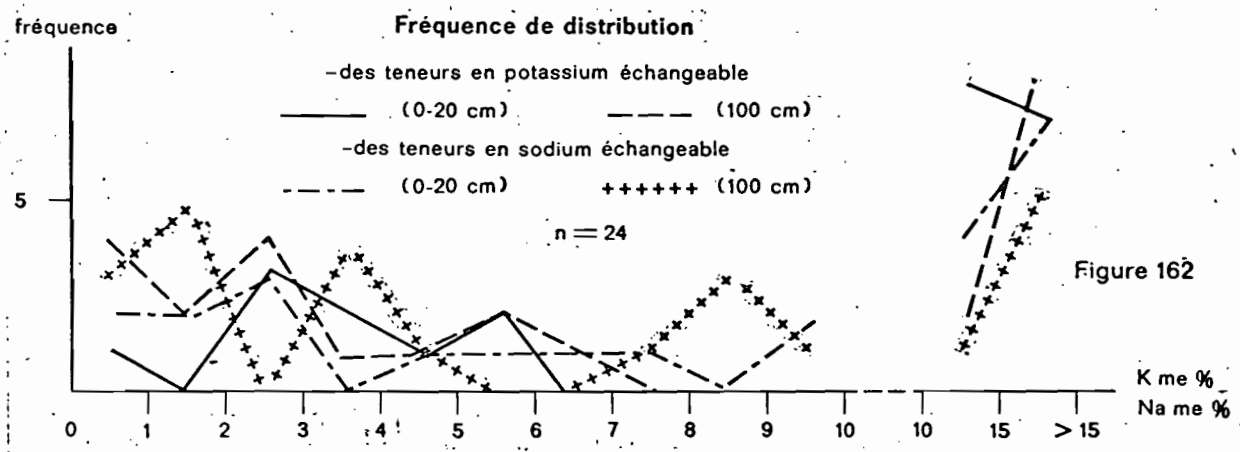


Figure 162

- sous-classe : sols peu évolués d'origine climatique
- groupe : sols subdésertiques
- sous-groupe : à hydromorphie de profondeur et faible halomorphie

Les sols à plus forte conductivité appartiennent à la classe des sols halomorphes :

- sous-classe : sols halomorphes à structure non dégradée
- groupe : sols salins
- sous-groupe : à hydromorphie de nappe

- sous-classe : sols halomorphes à structure dégradée
- groupe : sols à alcalis non lessivés
- sous-groupe : sols salés à alcalis et sols à alcalis à hydromorphie de nappe.

8. SOLS FORMES SUR LA SERIE LACUSTRE ACTUELLE

Des dépôts lacustres actuellement en cours de sédimentation s'effectuent dans les trois principaux lacs du Tchad (lacs Tchad, Fitri et Iro).

C'est dans le premier, le plus étendu, qu'ils ont été étudiés puisque sur ses rives nord et est, un ancien système dunaire parallèle à la côte constitue des chapelets d'îles qui ont favorisé, en certains endroits par des barrages, la création de polders.

Nous prendrons, à titre d'exemple, le polder de Bol Guini que nous voyons représenté à la figure 167.

Le barrage qui devait amener son assèchement fut construit en 1951. Il était presque à sec en juillet 1954, mais était à nouveau en majeure partie en eau à la fin de cette même année après une forte saison des pluies au cours de laquelle il tomba près de 700 mm. Il a subi jusqu'en 1965 des périodes d'assèchement relatif et de remises en eau en fonction des aléas climatiques. Les surfaces inondées varient chaque année, mais se limitent actuellement au voisinage du barrage et de sa rive est.

La création des autres polders est plus récente ou plus ancienne puisque le plus vieux polder semble remonter à 1910 (polder de Ganatir). La majorité des polders actuels a été créée de 1950 à 1955.

De nombreux polders ont donc un assèchement très relatif et les parties exondées pouvant être cultivées se limitent souvent à des auréoles peu étendues.

Après la création des barrages, dans les parties les plus basses, ces polders sont couverts, soit par des eaux libres, soit par une végétation graminéenne côtière : Phragmites vulgaris, Typha australis, Echinochloa divers, Cyperus articulatus associés à des îlots flottants de Cyperus papyrus. Cette végétation est brûlée par les autochtones au fur et à mesure de l'assèchement.

8.1. MORPHOLOGIE

Nous donnerons deux profils de ces sols.

Le premier a été prélevé sous une lame d'eau de 40 cm sur la bordure d'un ouadi en cours d'assèchement.

Profil I 15

Localisation : Ouadi d'Iriri partie nord. 13°18 de latitude nord - 15°07 de longitude est.

Pluviométrie : 322 mm en 1963.

Végétation : Typha australis hauts et denses.

0 - 2 cm : litière végétale noire.

2 - 20 cm : noirâtre (5 Y 3/1), limono-argileux avec débris donnant un aspect spongieux lamellaire et stratifié une fois sec, très plastique avec quelques éléments structurés en polyèdres fins.

20 - 80 cm : gris bleuté (5 GY 5/1) passant à bleuté en profondeur, argileux, plastique à fluide.

Un profil identique prélevé face aux rochers d'Hadjer el Hamis près de Goré sous 140 cm d'eau et sous couvert graminéen, se présente d'une façon analogue.

Le second profil a été pris dans la partie exondée d'un polder. La nappe était à 80 cm.

Profil BG 25

Localisation : Ouadi de Bol Guini. 13°26 de latitude nord - 14°45 de longitude est.

Pluviométrie moyenne annuelle : 290 mm.

Végétation : en culture de blé.

0 - 10 cm : noir à gris-noir (10 YR 3/1 - 4/1), argilo-limoneux, polyédrique fin (les éléments structuraux sont très individualisés), légère effervescence à l'acide. Fort enracinement.

10 - 60 cm : gris (10 YR 5/1), jaunâtre par multiples fines taches rouille, argileux. Structure en fins polyèdres ou à tendance grenue souvent mêlée d'éléments plus grossiers (prismes ou polyèdres) durcis et noirs. Fort enracinement diminuant progressivement.

60 - 75 cm : gris (10 YR 5/1) à taches rouille nombreuses, argileux, prismatique moyen à grossier par larges fentes de retrait de plusieurs centimètres, légèrement humide se délitant en plaquettes ou polyèdres moyens à fins, amas calcaires gris clair, gris-blanc (10 YR 6/1 - 7/1) intimement liés à l'argile et à très faible cohésion, enracinement encore visible.

75 - 120 cm : gris (5 Y 6/1) argileux, humide, plastique se fragmentant en prismes irréguliers. Taches gris-blanchâtre faisant effervescence à l'acide.

120 - 150 cm : gris bleuté (5 GY 5/1) avec taches noires. Identique à l'horizon précédent.

Il s'agit ici de la description d'un type moyen, de nombreuses variantes vont exister que nous signalerons dans les caractères généraux (variantes liées à la profondeur de la nappe phréatique, à la présence de CO_3Ca ou de sels solubles dans un ou plusieurs horizons ...).

8.2. CARACTERES ANALYTIQUES DES PROFILS BG 25 - BG 4 - BG 7 - BG 179 - H 108 - H 52 - I 15 - H 7

Tableaux XXIX et XXX

8.3. CARACTERES ANALYTIQUES GENERAUX

Nous considérons notre premier exemple comme celui d'un profil de sol bien que sous une lame d'eau encore importante, à l'origine avant la création du barrage, de l'ordre de 2 à 3 m.

Ce sol présente les horizons suivants :

A_{oo} litière mal décomposée, formée de résidus végétaux des herbes aquatiques. Noir.

A_oA_1 litière plus ou moins décomposée, mal mêlée aux sédiments, spongieuse, lamellaire en même temps que plastique, noirâtre, parfois bleuté (5 Y 3/1 - 5 GY 4/1).

B_G gley, gris-blanc à bleuté ou verdâtre (5 Y 6/1 ... 5 G 6/2), plastique.

Le second profil va être présenté ici avec ses multiples variantes. Il s'agit d'un sol exondé artificiellement à nappe phréatique de faible à moyenne profondeur (20 cm à 1 m).

A_o A_{oo} peuvent exister encore mais plus réduits, la structure fibreuse, lamellaire, est encore mieux marquée à l'état sec, couleur noire. Faible épaisseur (quelques centimètres).

A_1 matière organique intimement liée aux sédiments, noir, gris-noir, (10 YR 2/1 à 5/1) polyédrique fin (éléments très individualisés et très durs donnant un horizon meuble). 10 à 30 cm. Fort enracinement.

Les horizons A_o - A_{oo} - A_1 peuvent être surmontés d'une exudation saline dans le cas d'une nappe phréatique relativement proche de la surface (40 à 60 cm) ou d'irrigation.
L'horizon A_1 peut ou non faire effervescence à l'acide (présence de CO_3Ca).

$(B)_1$ bien structuré, plus grossier et variable (polyédrique fin à tendance grenue associée à des éléments plus grossiers prismatiques ou polyédriques). Il existe fréquemment dans cet horizon de petites poches d'éléments polyédriques fins très durcis. Leur origine n'est pas nette : "Nous admettons cependant qu'ils résultent de feux qui détruisent le couvert graminéen. La consumation lente des racines et le milieu tourbeux environnant, à faible profondeur, auraient pour résultat de durcir des éléments structurés existant primitivement. Ce durcissement semble irréversible. En certains endroits, les éléments durcis sont rougeâtres" (J. PIAS, 1962c).
Coloration noire, gris-noir, gris-jaunâtre par taches rouille (10 Y 3/1 à 6/1). Fort enracinement. Amas calcaires possibles.

$(B)_2$ humide, nappe peu profonde (40-60 cm). Structure prismatique grossière à moyenne se débitant en polyèdres, avec fentes de retrait. Couleur identique à l'horizon précédent, mais taches rouille plus marquées. Amas calcaires visibles ou non.

$(B)_2$ G humide, nappe peu profonde (40 à 60 cm), gley, gris à bleuté verdâtre (5 Y 6/1 ... 5 G 6/2) à taches noires ou noir (5 Y 4/1 - 5 GY 4/1), plastique se débitant en prismes irréguliers.
C est confondu ici avec cet horizon.

$(B)_2$ C sec, nappe le plus souvent à plus d'un mètre. Coloration passant à gris-blanc, blanchâtre (10 YR 6/1 - 7/1). Structure feuilletée se débitant en fines plaquettes légères, poreuses où s'observent parfois des amas calcaires, saupoudrées aussi, dans certains cas, de minuscules points blancs de carbonate ou sulfate de Na.

Les échantillons dont nous donnons les résultats ci-après proviennent du polder de Bol-Guini et ont été prélevés en mars 1959. Le mois est important car nous verrons, lors de l'étude des phénomènes de salinisation, qu'une variation sensible des divers facteurs (carbone, salinité, ...) a lieu dans le courant de l'année en fonction de la pluviométrie annuelle et de la position de la nappe phréatique. L'horizon de surface a été pris généralement entre 0 et 20 cm, celui de profondeur entre 40 et 50 cm.

Ces sols ont des taux d'argile et de limon principalement compris (figure 163) :

- en surface : argile entre 25 et 55 %
  limon entre 5 et 25 %
- en profondeur : argile entre 45 et 70 %
  limon entre 5 et 10 %

Des faciès plus nombreux existent en surface sur le pourtour des polders au contact de la dune.

Les pourcentages d'argile sont plus élevés en profondeur où il n'est pas rare de trouver 70-75 %; à l'inverse, ceux de limon sont plus forts en surface.

La structure de ces sols est très bonne, l'indice d'instabilité structurale est très faible, toujours compris entre 0 et 0,4. Par contre, les perméabilités obtenues sur sol humide, en laboratoire, sont variables, faibles (supérieures à 1,5 cm/h) à bonnes (4 à 8 cm/h). Mesurées sur le terrain, les perméabilités sont très différentes suivant que l'on se trouve dans la partie haute (sol sec) ou basse (sol humide) du polder (J.PIAS, J. BARBERY, 1960). Figure 159

Les teneurs en carbone varient principalement en surface entre 5 et 7% (rapport C/N 10 à 12), en profondeur entre 4 et 7% (rapport C/N 11 à 13). Il y a une diminution en profondeur de la valeur en carbone en même temps que les rapports C/N augmentent légèrement (figure 164).

Les teneurs en matière humique totale représentent environ 10% du carbone total. Il y a prédominance des acides fulviques, surtout en profondeur (60 à 80% pour 20 à 40% en surface). Les acides humiques bruns sont assez abondants en surface (20 à 40%), moindres en profondeur. Les acides humiques gris sont peu importants (10 à 20%, exceptionnellement 40 %).

Les pH sont compris en surface entre 7 et 9. En profondeur, on note une baisse légère (6 à 9). Le maximum dans les deux cas est entre 7 et 8. Les pH les plus élevés sont observés dans le cas de nappe phréatique très proche de la surface du sol (figure 165).

Les teneurs en CO3 Ca sont variables, pouvant atteindre 50%, ceci avec une très apparente disparité sur le terrain (figure 166). C'est en surface que CO3 Ca apparaît le plus souvent (25 à 30% des échantillons entre 0 et traces - 50% entre traces et 10% avec un maximum entre 2 et 4% - 10 à 15% entre 10 et 20%).

En profondeur : 65% des échantillons sont compris entre 0 et traces,
15 à 20% entre traces et 10%,
10 à 15% entre 10 et 20%.

Parmi les bases échangeables, le calcium est l'élément dominant avec des teneurs importantes. En sols non calcaires, les valeurs les plus communes se situent entre 20 et 30 me % et sont relativement constantes.

Les taux de Mg vont de 6 à 10 me % (parfois 18-20 me %). Les concentrations les plus élevées sont observées en surface, elles diminuent avec la profondeur pour se relever dans les horizons profonds. Les teneurs les plus faibles sont observées dans la partie nord du polder. Les rapports ...

Ca/Mg dans les horizons non calcaires sont de l'ordre de 3 à 5.

Les teneurs en K sont élevées, supérieures à 1 me %, plus élevées dans les horizons de surface qu'en profondeur. K est moins abondant dans la partie nord du polder (1 à 1,5 me % en surface, 0,5 - 0,8 me % en profondeur) que dans la partie sud (3 à 4 me %).

Les taux de Na sont faibles d'une façon générale, très inférieurs à 1 me % sauf dans la partie sud où s'observent les concentrations les plus élevées, souvent 4-5 me % en surface, légèrement plus faibles en profondeur.

Les rapports Na/Ca échangeables % qui indiquent le degré d'alcalisation des terres sont bas, inférieurs à 5% dans la majorité des cas. Dans la partie sud où ces rapports pourraient prendre des valeurs élevées, ils sont non calculables puisque le sol y est calcaire et salé.

Les bases échangeables présentent donc dans l'ensemble une augmentation de leurs divers cations du Nord vers le Sud dont K et Na . Une assez grande microhétérogénéité est cependant visible, notamment dans les parcelles de cultures (J. PIAS, J. BARBERY, 1960).

Les taux de P2 05 total sont de 2 à 3% en surface, de 0,7 à 1% en profondeur, sauf dans la partie sud où les horizons profonds atteignent 1,5 à 2%.

La salinité de ces sols va varier en cours d'année en fonction de différents facteurs que nous étudierons plus loin. Nous ne donnerons ici que les taux de salinité correspondant à une période donnée (mars 1959), mois où la salinité peut être considérée comme presque au maximum de l'année.

La figure 167 montre la répartition de la valeur de l'extrait de saturation dans le polder dans les horizons de surface et en profondeur.

- En surface : la salinité est faible (inférieure à 4 millimhos) sur la bordure ouest, plus élevée dans la partie centrale et la bordure est, très élevée (8 à 15 millimhos) dans la partie sud et par taches ailleurs.

- En profondeur : salinité faible dans la majorité du polder, quelques taches au Sud comprises entre 8 et 15 millimhos .

La somme des cations solubles de l'extrait de saturation varie proportionnellement à la conductivité. L'ion Na est largement dominant pour les très fortes conductivités.

- Ca : surface, 0 à 2 me %; profondeur, 0 à 3 me %.
- Mg : surface, 0 à 0,2 me %; profondeur, 0 à 0,9 me %.
- K : surface, 0 à 0,4 me %; profondeur, 0 à 0,2 me %.
- Na : surface, 0 à 7 me %; profondeur, 0 à 2 me %.

Il existe une très grande microhétérogénéité de la salinité, notamment dans les parcelles de cultures (carrés d'irrigation de 1 m/1 m).

Les sels solubles sont des sulfates et des carbonates, les chlorures sont à l'état de traces. Les sulfates dominent assez souvent.

L'analyse totale de ces profils de sols de polder indique des rapports Si02/Al203 élevés (3 à 6), des teneurs en fer total de 4 à 7%, une

Sols de la série lacustre actuelle

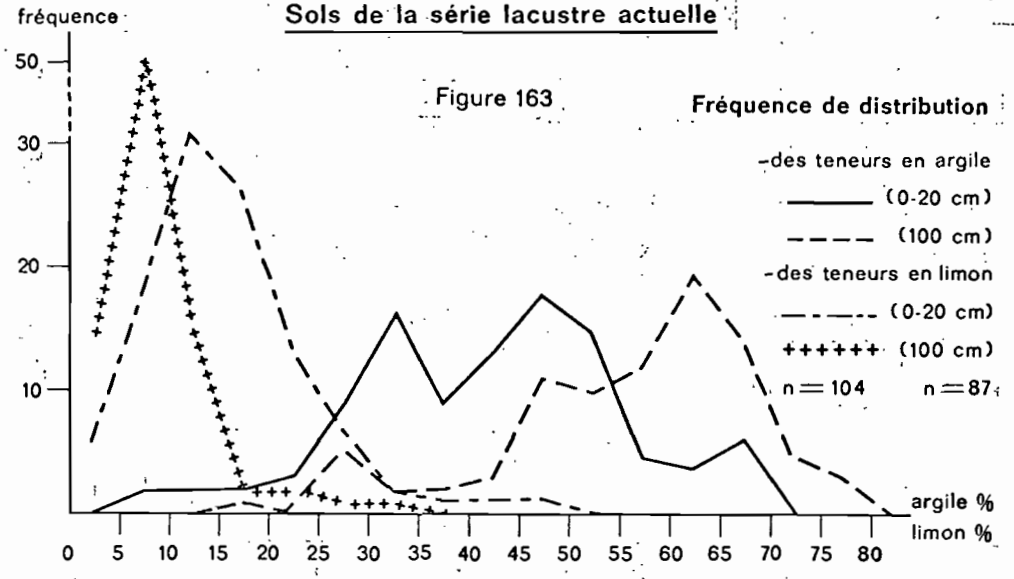


Figure 163

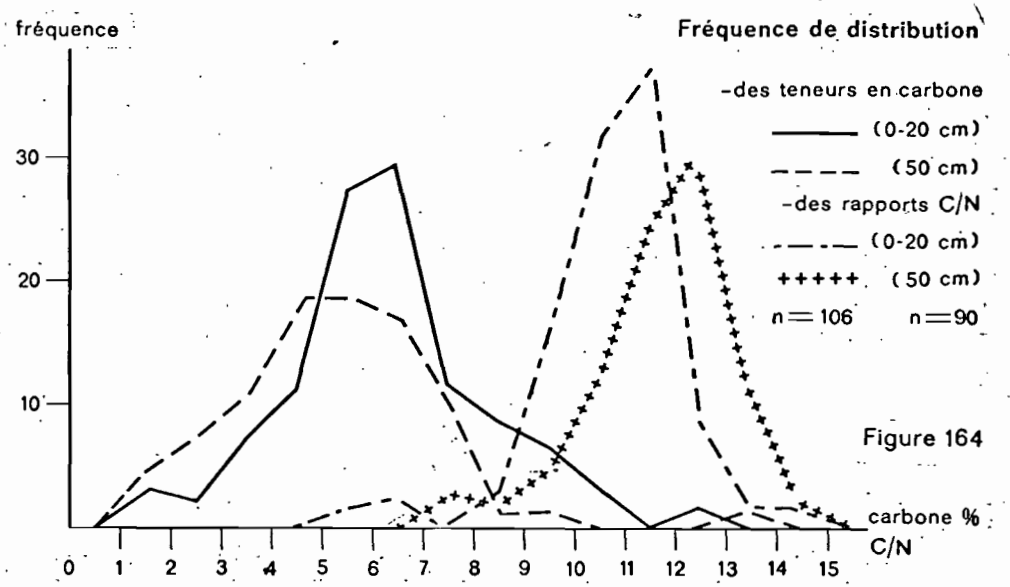


Figure 164

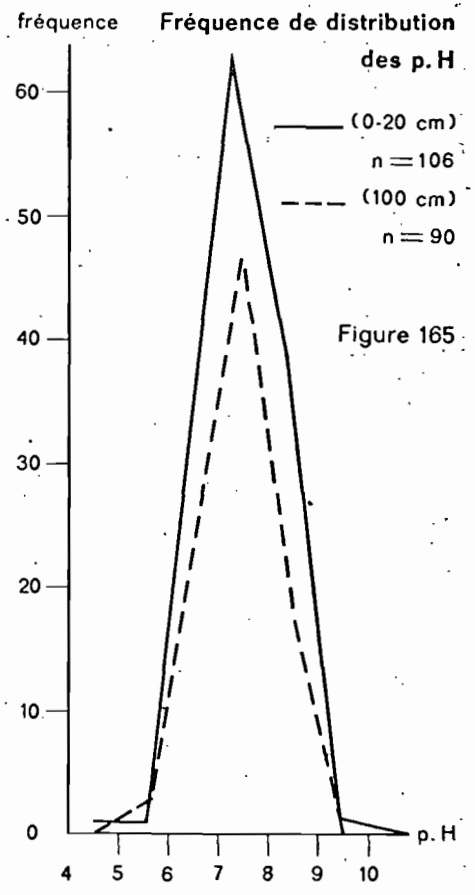


Figure 165

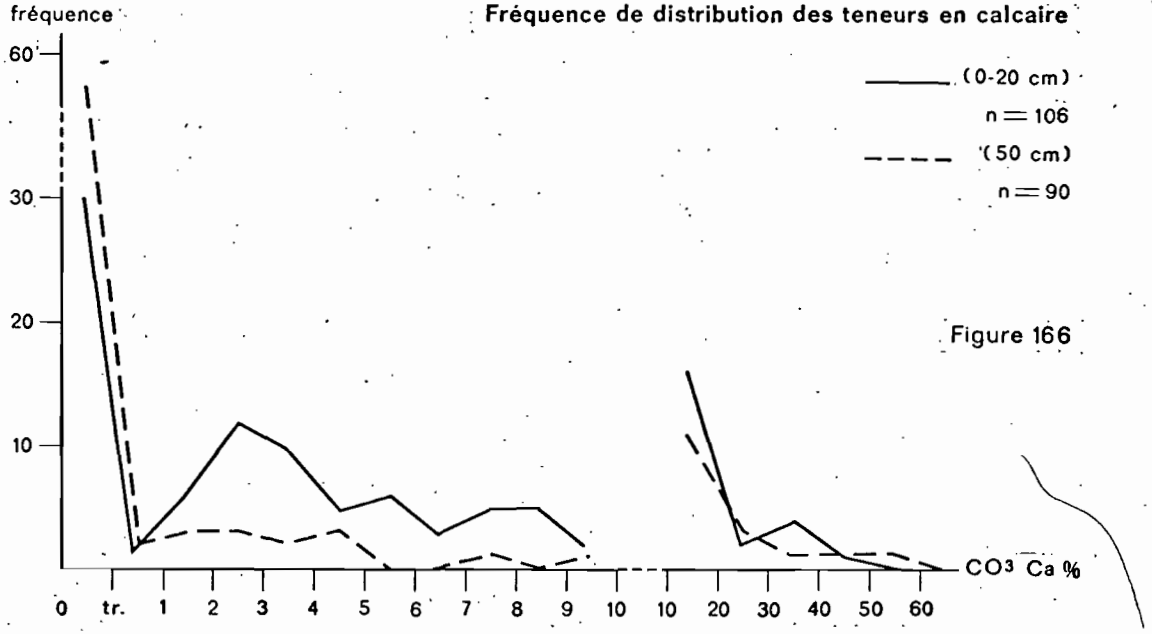
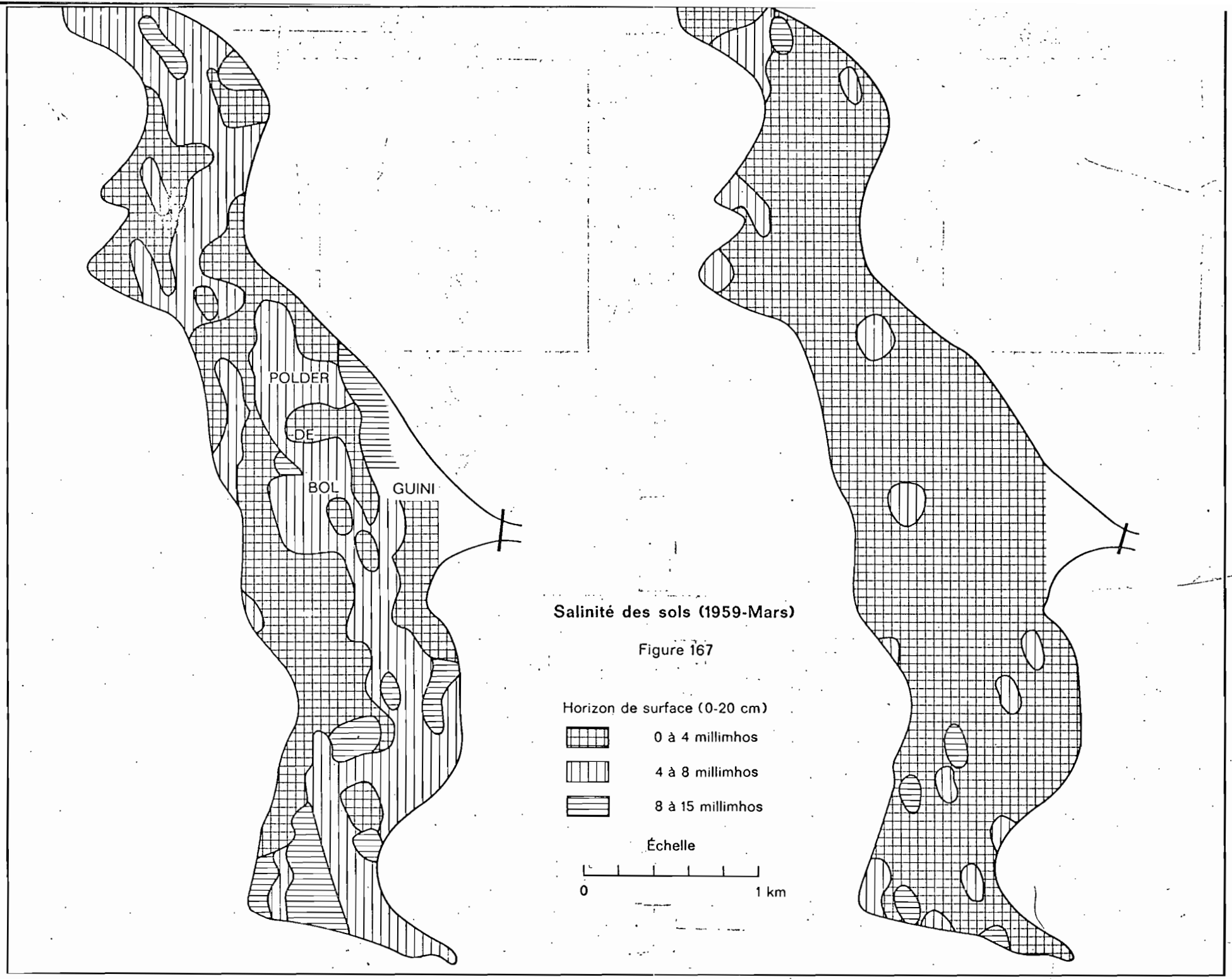


Figure 166


POLDER
DE
BOL
GUINI
Salinité des sols (1959-Mars)
Figure 167
Horizon de surface (0-20 cm)
0 à 4 millimhos
4 à 8 millimhos
8 à 15 millimhos
Échelle
0
1 km

fraction quartzeuse fine encore importante, 25 à 40% suivant les cas (tableau 63 en annexe).

Les rapports fer libre/fer total % sont compris entre 15 et 30. Une proportion importante semble intégrée dans le réseau cristallin de l'argile.

La fraction colloïdale de ces sols est constituée par un mélange de kaolinite (30 à 45%), de montmorillonite (25 à 45%) et d'illite (25 à 40%). Cette dernière est parfois moins abondante.

Les teneurs en éléments traces sont correctes, à l'exception du molybdène (tableau 64 en annexe). Le manganèse a des valeurs très fortes dans les échantillons les plus salés (N° BB 211 - 311 - 312 ... Extrait de saturation : 19 - 21,8 - 8,6 millimhos). Les plus fortes teneurs s'observent en surface.

Les autres échantillons ont des valeurs moyennes ou parfois faibles (V, Cu, Ni, Cr, Co).

Nous retiendrons seulement ici le sédiment après son exondation artificielle. Il va présenter un profil de type A (B)C ou A $(B)_G$C avec les horizons :

A_oA_{oo} existant ou non, noir, lamellaire, quelques centimètres.

A_1 noir, gris-noir, polyédrique fin.

B_1 gris-noir, gris-jaunâtre, structure plus variable (polyédrique, prismatique).

B_2 identique, structure plus grossière.

fait le passage à C lorsque la nappe est supérieure à 1 m, couleur alors gris-blanc, structure feuilletée.

B_2G gley, gris à bleuté, plastique (nappe à faible profondeur).
C confondu avec B_2G.

Les horizons A_o A_{oo} ou A_1 peuvent être surmontés d'une exudation saline blanche ou noirâtre superficielle de quelques millimètres.

A_1B_1 peuvent être légèrement ou fortement calcaires.

B_2 peut aussi présenter une accumulation calcaire généralement plus faible sous forme d'amas.

Les principales caractéristiques chimiques de ces sols sont :

- leur teneur élevée en matière organique souvent supérieure à 10%;
- un complexe absorbant riche en bases échangeables et saturé;
- des teneurs en Na échangeable faibles (souvent inférieures à 1 me %) sauf en de rares places (partie sud du polder de Bol Guini);
- leur salinité qui diminue avec la profondeur. Elle est parfois très forte en surface (exudation saline atteignant 100 millimhos), le plus souvent comprise entre 4 et 8 millimhos, tandis qu'en profondeur elle

est presque toujours inférieure à 4 millimhos.
L'ion Na domine. Les cations sont des carbonates (pH # 10) ou des sulfates (pH = 8 à 9);

- la présence de CO_3^{Ca} compris souvent entre 0 et 10%, parfois 50%, principalement en surface où l'accumulation est diffuse, tandis qu'en profondeur, elle apparaît sous forme d'amas plus ou moins bien individualisés;
- une fraction colloïdale constituée par un mélange de montmorillonite-illite-kaolinite et une fine poussière de quartz.

Ces sols vont entrer dans deux classes :

- Classe : sols hydromorphes (conductivité de l'extrait de saturation inférieure à 4 millimhos)
  - sous-classe : sols hydromorphes moyennement organiques
  - groupe : sols humiques à gley
  - sous-groupes : . à anmoor calcique
    . salé à pédoclimat chaud des régions tropicales et parfois léger encroûtement calcaire.
- Classe : sols halomorphes (conductivité de l'extrait de saturation supérieure à 4 millimhos)
  - sous-classe : sols halomorphes à structure non dégradée
  - groupe : sols salins
  - sous-groupe : à encroûtement salin superficiel et parfois léger encroûtement calcaire (hydromorphie de nappe).
  - sous-classe : sols halomorphes à structure dégradée
  - groupe : sols à alcalis non lessivés
  - sous-groupe : sols salés à alcalis à hydromorphie de nappe.

Le choix est souvent difficile entre ces deux classes, surtout si nous tenons compte que ces sols ont des salinités variables en cours d'année du fait de phénomènes :

- de lessivage en saison des pluies;
- de remontée en saison sèche, par suite d'une nappe proche de la surface du sol.

N° profil : T 2

Emplacement : Kyabé
Type de sol : sol rouge

Tableau I

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	21	23	24	25	26	27	28	29_1	29_2
Profondeur cm	0-10	10-25	25-45	70-90	140-160	220-240	380-400	680-700	750
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	
ANALYSE MECANIQUE									
Argile %	7,0	10,0	19,5	36,0	39,5	43,5	44,0	41,5	Cuirasse ferrugineuse peu consolidée
Limon fin %	3,5	3,5	3,0	3,5	2,0	2,5	4,5	6,0	
Limon grossier %	7,0	8,0	8,0	6,0	3,0	4,5	5,5	10,0	
Sable fin %	32,7	25,0	20,8	12,8	11,0	13,0	15,1	14,5	
Sable grossier %	48,3	52,3	47,7	40,7	43,6	35,7	30,1	27,1	
Mat. Org. %	1,1	0,8	0,5	0,3	0,2	négl.	négl.	tr.	
Humidité %	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0	0		
MATIERE ORGANIQUE									
Carbone %	0,64	0,49	0,28	0,20	0,12				
Azote ‰	0,29	0,29	0,205	0,235	0,195				
C/N	22,1	16,9	13,7	8,5	6,2				
C‰ Mat. Humiques T	1,92	1,21	0,69	0,48	0,25				
Ac. Hum.	1,55	0,75	n.d.	n.d.	n.d.				
Ac. fulv.	0,37	0,46	n.d.	n.d.	n.d.				
REACTION									
pH eau	5,9	5,4	4,5	3,8	3,8	4,1	4,0	4,8	
pH KCl	5,3	4,9	4,2	4,1	4,2	4,5	4,3	4,1	
STRUCTURE									
Instabilité Is	0,80	0,75		1,40					
Perméabilité K cm/h	5,85	9,60		6,30					

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	21	23	24	25	26	27	28	29_1	29_2
BASES ECHANGEABLES M.E POUR 100 GR. DE SOL									
Ca	1,65	0,75	0,65	0,80	0,80	1,45	1,45		
Mg	1,00	0,40	0,35	0,35	0,30	0,75	0,60		
K	0,15	< 0,10	0,30	<0,10	0,10	< 0,10	0,10		
Na	<0,10	< 0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10		
S	2,80	1,15	1,30	1,15	1,20	2,20	2,15		
T	7,90	8,00	6,90	8,40	8,90	9,15	8,40		
S/T = V	35,40	14,40	18,80	13,70	13,50	24,00	25,60		
ACIDE PHOSPHORIQUE									
P2 O5 Truog PPM	15	1		1					
P2 O5 total ‰	0,25	0,21	0,22	0,28					
ELEMENTS TOTAUX			(1)				(2)		
Ca O %	0,18	0,56	0,21	0,32		0,18	0,42	0,18	0,25
Mg O %	0,17	0,20	tr.	0,12		tr.	0,12	tr.	0,13
K2 O %	tr.	0,42	0,06	0,06		0,06	0,32	0,03	0,14
Na2 O %	0,67	0,54	0,30	0,84		0,54	0,50	0,64	0,22
Perte feu %	2,10	14,85	3,05	5,15		5,85	13,00	6,27	6,23
Résidu %	97,40	0,80	78,75	61,40		56,60	0,40	55,31	43,94
Si O2 %	5,20	38,05	8,05	15,15		16,45	39,10	14,98	15,62
Al2 O3 %	2,85	32,00	7,25	12,25		14,40	33,40	16,56	14,50
Fe2 03 %	1,50	11,00	2,35	4,35		4,60	11,00	5,30	19,56
Ti O2 %	tr.	2,30	0,55	0,80		1,00	1,55	0,45	0,40
Si02/Al203	3,07	2,01	1,89	2,09		1,94	1,98	1,53	1,82
Si02/R2 03	2,33	1,65	1,56	1,70		1,61	1,64	1,27	0,98
Fe2 03 lib.%	1,08	-	2,14	3,32	3,51	3,85	3,94	4,34	-
Al2 03 lib.%	-	-	0,42	-		0,43	-	3,85	1,24

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 μ : T21 - T25)

T 21 - T 25
kaolinite
hématite
traces de goethite

$T 29_2$ cuirasse
kaolinite 30% environ
quartz 45%
goethite 20 à 25%

(1) (2) Eléments totaux sur la fraction colloïdale < 2μ

(1) Echantillon T 23 (2) Echantillon T 27

N° profil : T 35

Emplacement : NW de Gounou Gaya
Type de sol : sol rouge

Tableau II

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	351	352	353	354	355	356	357
Profondeur cm	0-20	20-40	90-110	145-160	215-225	250-270	430
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE							
Argile %	4,5	8,0	10,5	12,0	10,5	12,0	12,0
Limon fin %	1,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Limon grossier %	3,5	4,5	2,5	4,0	3,5	4,0	2,5
Sable fin %	65,0	56,0	57,5	51,8	60,7	53,0	55,0
Sable grossier %	25,7	30,2	28,0	30,8	23,9	29,6	29,1
Mat. Org. %	0,5	0,4	0,2	négl.	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE							
Carbone %	0,28	0,24	0,09				
Azote ‰	0,21	0,18	0,13				
C/N	13,3	13,3	6,9				
C‰ Mat. humiques T	0,87	0,45	0,23				
Ac. hum.	0,61	n.d.	n.d.				
Ac. fulv.	0,26	n.d.	n.d.				
REACTION							
pH eau	5,1	4,2	3,7	3,6	3,7	3,4	3,4
pH KCl	4,7	3,9	3,9	3,6	3,8	3,2	3,7
STRUCTURE							
Instabilité Is	0,90	1,20	1,35				
Perméabilité K cm/h	7,40	14,50	7,35				

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	351	352	353	354	355	356	357
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. de SOL							
Ca	1,55	1,65	0,55	0,40	0,45	0,40	0,40
Mg	0,40	0,75	1,00	2,10	0,80	0,70	1,05
K	0,15	0,55	0,90	0,10	0,10	0,10	0,15
Na	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
S	2,10	2,95	2,55	2,60	1,35	1,20	1,70
T	4,10	6,15	4,95	4,40	3,80	3,35	3,20
S/T = V	51,20	48,00	51,15	59,10	35,5	35,80	55,10
ACIDE PHOSPHORIQUE							
P2 O5 Truog PPM	12	9	5				
P2 O5 total ‰	0,06	0,07	0,04				
ELEMENTS TOTAUX				(1)			(2)
Ca O %	0,14		0,14	0,42	0,14		0,21	0,52
Mg O %	0,17		tr.	0,30	tr.		tr.	0,28
K2 O %	tr.		tr.	0,56	tr.		tr.	0,56
Na2 O %	0,64		0,74	0,50	0,71		0,74	0,50
Perte feu %	1,15		1,45	13,55	1,40		1,70	12,75
Résidu %	94,10		89,05	1,00	88,90		86,15	0,80
Si O2 %	1,55		4,25	39,30	4,35		6,10	40,30
Al2 O3 %	0,75		2,85	32,00	2,95		3,30	32,00
Fe2 O3 %	1,00		1,50	11,00	1,45		1,55	11,00
Ti O2 %	tr.		0,35	1,45	0,35		0,25	1,40
Si02/Al203	3,50		2,50	2,08	2,48		3,16	2,13
Si02/R2 03	1,89		1,89	1,70	1,89		2,40	1,75
Fe2 O3 lib.%	0,62	0,86	1,05		1,09	1,13	1,21	

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 μ : T 351 - T 353)

kaolinite
illite
goethite (T 351-T 353)
hématite (T 351)

(1) (2) Eléments totaux sur la fraction colloïdale < 2 μ (1) Echantillon T 353 (2) Echantillon T 357

N° profil : Ma 3

Emplacement : Mangalmé

Type de sol : sol rouge

Tableau III

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	31	32	33	34	35
Profondeur cm	0-10	50-60	90 - 110	190 - 210	320-330
Refus 2 mm %	1,0	0,7	0,4	tr.	9,8
	ANALYSE MECANIQUE				
Argile %	5,5	14,5	21,0	22,0	23,0
Limon fin %	2,0	1,5	2,0	3,0	3,0
Limon grossier %	5,0	6,5	4,5	7,0	6,5
Sable fin %	44,0	28,0	23,0	18,0	20,0
Sable grossier %	43,1	48,5	48,1	48,5	46,0
Mat.Org. %	0,2	0,2	0,2	négl.	négl.
Humidité %	0,2	0,8	1,2	1,5	1,5
CO3 Ca %	0	0	0	0	0
	MATIERE ORGANIQUE				
Carbone %	0,13	0,10	0,12		
Azote ‰	0,13	0,145	0,19		
C/N	10,0	6,9	6,3		
Mat.Humiques T	0,36	0,32	0,26		
C°/°° Ac.Hum.	n.d.	n.d.	n.d.		
Ac.fulv.	n.d.	n.d.	n.d.		
	REACTION				
pH eau	4,9	4,4	6,1	6,6	7,1
pH KCl	4,6	4,3	5,5	5,7	6,1
	STRUCTURE				
Instabilité Is	1,00	2,15	2,80		
Perméabilité K cm/h	3,60	3,95	3,80		

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	31	32	33	34	35
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL				
Ca	1,20	1,15	1,75	2,30	3,20
Mg	0,80	1,35	0,70	1,15	1,45
K	0,30	0,15	0,20	0,15	0,35
Na	0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
S	2,40	2,65	2,65	3,60	5,00
T	4,50	4,60	4,60	5,45	9,00
S/T = V	53,40	57,60	57,60	66,10	55,55
	ACIDE PHOSPHORIQUE				
P2 O5 Truog PPM	6	9	10		
P2 O5 total ‰	0,13	0,18	0,18		
	ELEMENTS TOTAUX				
Ca O %	0,05		0,18		0,23
Mg O %	tr.		0,10		0,17
K2 O %	tr.		0,08		0,10
Na2 O %	0,24		0,35		0,29
Perte au feu %	0,95		2,90		3,35
Résidu %	91,25		76,25		74,45
Si O2 %	3,35		9,45		10,10
Al2 O3 %	2,55		7,60		8,15
Fe2 O3 %	1,55		3,00		2,95
Ti O2 %	0,35		0,25		0,60
SiO2/Al2O3	2,22		2,12		2,10
SiO2/R2 O3	1,60		1,69		1,71
Fe 2 O3 lib.%	0,91	1,68	2,22	2,28	2,24

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ : Ma 31 - 35)

kaolinite
illite
goethite (dans le Ma 35 seulement)
hématite

N° profil : T 12

Emplacement : Kyabé

Type de sol : sol beige de pente

Tableau IV

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	121	122	123	123'	124	125	126	127
Profondeur cm	0-20	20-40	50-70	rales 60	90-110	140-180	250-270	400-440
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
	ANALYSE MECANIQUE							
Argile %	4,5	6,0	6,5	13,0	22,5	36,5	39,5	33,5
Limon fin %	2,5	2,5	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	4,5
Limon grossier %	7,0	11,0	8,0	8,5	5,5	6,5	4,5	8,5
Sable fin %	36,5	30,7	35,2	24,5	20,0	15,0	14,0	20,5
Sable grossier %	48,5	49,1	45,8	49,7	48,2	37,4	38,1	31,8
Mat. Org. %	0,7	0,4	0,2	0,3	négl.	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,3	0,3	0,3	0,5	0,8	1,6	1,4	1,2
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0	0	0
	MATIERE ORGANIQUE							
Carbone %	0,40	0,21	0,11	0,16				
Azote ‰	0,205	0,125	0,110	0,175				
C/N	19,5	16,8	10,0	9,1				
Mat.Humiques T	1,32	0,75	0,36	0,43				
C‰ Ac.Hum.	1,09	0,55	n.d.	n.d.				
Ac.fulv.	0,23	0,20	n.d.	n.d.				
	REACTION							
pH eau	5,7	5,3	5,0	4,8	4,7	3,5	4,6	4,1
pH KCl	5,5	5,1	4,7	5,1	4,6	3,4	4,7	4,3
	STRUCTURE							
Instabilité Is	0,90		1,40					

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	121	122	123	123'	124	125	126	127
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL							
Ca	1,70	0,75	0,80	1,35	1,45	1,80	1,75	0,75
Mg	2,40	1,35	1,70	1,00	2,00	2,65	2,40	2,90
K	0,10	0,10	0,10	0,35	0,25	0,20	0,45	1,25
Na	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10
S	4,20	2,20	1,60	2,85	3,80	4,80	4,60	5,00
T	-	3,75	3,80	4,90	6,50	8,00	7,95	8,20
S/T = V		58,70	42,10	58,20	58,50	60,00	57,90	61,00
	ACIDE PHOSPHORIQUE							
P2 O5 Truog PPM	10	6	6					
P2 O5 total ‰	0,15	0,11	0,11					
	ELEMENTS TOTAUX ET LIBRES							
Fe2 O3 lib. %	0,29	0,26	0,29	0,37	0,42	0,53		
Fe2 O3 tot. %	0,44	0,44	0,44	0,60	0,92	1,16		

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

T 121 - T 123

kaolinite
hématite
goethite faible

N° profil : T 13

Emplacement : Kyabé

Type de sol : sol de bas de pente avec début de cuirassement

Tableau V

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	131	132	133	134	135	136	137
Profondeur cm	0-20	35-50	90-110	165-180	195-200	210-230	340-360
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	11,6	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE							
Argile %	5,0	3,0	10,5	13,5	19,0	37,5	26,0
Limon fin %	2,0	2,5	2,0	2,5	3,0	4,5	9,0
Limon grossier %	7,0	5,0	5,5	4,0	7,5	6,5	13,0
Sable fin %	26,0	33,5	17,0	18,8	14,5	16,0	23,5
Sable grossier %	57,9	55,7	64,1	60,5	54,8	33,1	25,9
Mat. Org. %	1,5	0,1	0,2	négl.	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,6	0,2	0,7	0,7	1,2	2,4	2,6
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE							
Carbone %	0,85	0,08	0,11				
Azote ‰	0,48	0,085	0,145				
C/N	17,7	9,4	7,6				
Mat.Hum. T	1,92	0,22	0,36				
C‰ Ac.Hum.	1,63	n.d.	n.d.				
Ac.fulv.	0,29	n.d.	n.d.				
REACTION							
pH eau	7,3	6,6	5,7	4,2	4,0	4,0	4,6
pH KCl	6,5	6,2	5,2	4,3	4,2	4,0	4,3
STRUCTURE							
Instabilité Is	0,55	0,70					

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	131	132	133	134	135	136	137
BASES ECHANGEABLES M.E.POUR 100 GR. DE SOL							
Ca	4,50	0,90	1,45	1,15	1,10	2,05	1,75
Mg	1,80	1,85	2,30	2,50	2,85	4,15	2,15
K	0,25	< 0,10	0,20	0,25	0,20	0,30	0,30
Na	< 0,10	< 0,10	<0,10	0,35	0,15	0,35	0,30
S	6,55	2,75	3,95	4,25	4,30	6,85	4,50
T	9,25	6,90	8,00	9,50	10,70	14,25	11,90
S/T = V	70,80	39,90	49,40	44,70	40,20	48,10	37,80
ACIDE PHOSPHORIQUE							
P2 O5 Truog PPM	31	1	10				
P2 O5 total ‰	0,17	0,08	0,09				
ELEMENTS TOTAUX						(1)	
Ca O %	0,21		0,04		0,32	0,18	0,32
Mg O %	tr.		tr.		0,13	0,21	tr.
K2 O %	tr.		tr.		0,06	0,09	0,09
Na2 O %	0,67		0,81		0,50	0,35	0,50
Perte feu %	2,10		1,60		3,20	4,95	3,75
Résidu %	92,85		88,45		74,00	59,85	67,60
Si O2 %	2,45		5,10		9,30	9,60	14,80
Al2 O3 %	0,85		2,35		4,65	8,80	7,75
Fe2 O3 %	0,75		1,05		7,30	14,85	4,40
Ti O2 %	tr.		≠ 0,55		tr.	≠ 0,50	≠ 0,95
SiO2/Al2O3	4,90		3,65		3,42	1,86	3,28
SiO2/R2 O3	3,13		2,80		1,69	0,89	2,39
Fe 2 O3 lib. %	0,37	0,38	0,51	0,72	4,47	2,08	2,71

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

T 133 - 135 kaolinite
illite faible
traces de goethite (T 135)

(1) Concrétions ferrugineuses T 135

N° profil : T 36

Emplacement : NW Gounou-Gaya

Type de sol : sol ocre de pente

Tableau VI

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	361	362	363	364	365
Profondeur cm	0-20	60-80	130-150	180-200	300-330
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE					
Argile %	4,0	6,5	12,0	18,0	20,5
Limon fin %	2,0	1,5	2,5	2,5	3,0
Limon grossier %	6,5	4,5	5,5	4,0	7,0
Sable fin %	57,2	64,0	50,0	44,0	45,5
Sable grossier %	29,4	23,1	29,6	30,8	23,1
Mat. Org. %	0,6	0,2	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,3	0,2	0,4	0,7	0,9
CO3 Ca %	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE					
Carbone %	0,35	0,11			
Azote ‰	0,21	0,125			
C/N	16,7	8,8			
Mat.Humiques T	1,17	0,24			
C‰ Ac.Hum.	0,87	n.d.			
Ac.fulv.	0,30	n.d.			
REACTION					
pH eau	5,3	4,5	3,9	4,2	3,9
pH KCl	4,7	4,1	3,9	4,2	4,0
STRUCTURE					
Instabilité Is	1,40	1,20			

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	361	362	363	364	365
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL					
Ca	1,20	0,60	0,45	0,70	0,80
Mg	1,10	1,10	1,20	1,70	2,10
K	0,15	0,15	0,10	0,20	0,20
Na	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,10
S	2,45	1,85	1,75	2,60	3,20
T	4,85	4,85	5,00	5,40	7,20
S/T = V	50,60	38,20	35,00	48,20	44,50
ACIDE PHOSPHORIQUE					
P2 O5 Truog PPM	5	9			
P2 O5 total ‰	0,03	0,01			
ELEMENTS TOTAUX					
Ca O %	0,32		0,25		0,04
Mg O %	tr.		tr.		tr.
K2 O %	tr.		tr.		0,06
Na2 O %	0,38		0,37		0,31
Perte feu %	1,15		1,80		2,80
Résidu %	94,00		84,60		78,45
Si O2 %	2,45		6,35		10,00
Al2 O3 %	1,20		5,20		6,55
Fe2 O3 %	0,70		1,05		1,65
Ti O2 %	tr.		tr.		≠ 0,10
SiO2/Al2O3	3,42		2,08		2,55
SiO2/R2 O3	2,56		1,83		2,21
Fe2 O3 lib. %	0,38	0,42	0,53	1,20	0,83
Fe2 O3 tot. %	0,67	0,64	0,86	1,67	1,40

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

T 361 - T 363 kaolinite
illite faible
hématite faible
goethite faible

N° profil : T 47

Emplacement : Yagoua (Cameroun)

Tableau VII

Type de sol : sol beige à rares taches ferrugineuses

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	471	472	473	474	475	476
Profondeur cm	0-20	20-40	60-80	140-160	220-240	340-350
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE						
Argile %	3,5	5,5	7,0	7,0	5,5	4,0
Limon fin %	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Limon grossier %	5,5	3,0	4,0	3,0	3,5	1,5
Sable fin %	70,5	73,0	68,0	74,5	70,5	77,0
Sable grossier %	18,3	16,3	18,8	13,5	18,6	15,7
Mat. Org. %	0,4	0,3	0,2	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE						
Carbone %	0,21	0,17	0,11			
Azote ‰	0,170	0,140	0,160			
C/N	12,4	12,1	6,9			
Mat. Humiques T	0,65	0,78	0,54			
C‰ Ac. Hum.	0,47	0,56	0,34			
Ac. fulv.	0,18	0,22	0,20			
REACTION						
pH eau	5,6	5,0	4,7	4,8	4,5	5,0
pH KCl	4,1	4,0	4,0	4,0	4,1	4,2
STRUCTURE						
Instabilité Is	1,60	2,40	9,00			

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	471	472	473	474	475	476
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL						
Ca	0,15	0,30	0,45	0,35	0,30	0,25
Mg	0,40	0,45	0,40	0,50	0,40	0,40
K	0,20	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10
Na	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,10	0,10
S	0,75	1,00	1,05	1,00	0,90	0,85
T	1,50	2,25	2,40	2,40	1,80	1,40
S/T = V	50,00	44,40	43,70	41,70	50,00	60,70
ACIDE PHOSPHORIQUE						
P2O5 Truog PPM	7	7	7			
P2O5 total ‰	0,20	0,13	0,16			
ELEMENTS TOTAUX						
Ca O %	0,04		0,21		0,25	
Mg O %	tr.		tr.		tr.	
K2 O %	0,06		0,08		0,08	
Na 2O %	0,40		0,49		0,47	
Perte feu %	0,85		1,20		0,85	
Résidu %	94,20		90,45		92,90	
Si O2 %	2,10		3,50		2,90	
Al 2 O3 %	1,80		2,80		1,55	
Fe 2 O3 %	0,70		1,00		0,80	
Ti O2 %	tr.		♣ 0,15		♣ 0,25	
SiO2/Al2O3	1,95		2,15		3,20	
SiO2/R2O3	1,59		1,76		2,40	
Fe 2 O3 lib. %	0,40	0,50	0,57	0,56	0,46	0,38

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

T 471 = T 473 kaolinite
illite faible
traces de goethite

T 475 kaolinite
traces d'illite
traces de goethite

N° profil : T 34

Emplacement : NW de Gounou Gaya

Tableau VIII

Type de sol : sol beige à taches et concrétions ferrugineuses

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	341	342	343	344	345	346
Profondeur	0-25	40-60	80-100	130-150	250	480
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE						
Argile %	4,5	3,0	15,5	18,0	24,5	23,0
Limon fin %	4,5	4,5	3,5	3,5	3,5	4,0
Limon grossier %	6,0	8,5	4,5	5,0	5,0	8,0
Sable fin %	54,0	53,0	45,5	33,0	37,0	30,5
Sable grossier %	30,0	30,7	29,8	39,4	28,6	32,8
Mat. Org. %	0,5	0,1	0,2	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,5	0,2	1,0	1,1	1,4	1,7
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE						
Carbone %	0,31	0,13	0,08			
Azote ‰	0,195	0,170	0,075			
C/N	15,9	7,6	10,7			
Mat. Humiques T	1,48	0,49	0,043			
C‰ Ac. Hum.	0,68	0,34	n.d.			
Ac. fulv.	0,80	0,15	n.d.			
REACTION						
pH eau	6,5	6,4	5,7	5,0	4,8	4,9
pH KCl	5,7	5,5	4,7	4,5	4,2	4,2
STRUCTURE						
Instabilité Is	0,95	1,30	3,40			

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	341	342	343	344	345	346
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL						
Ca	1,50	0,75	2,30	2,55	3,20	4,85
Mg	0,85	1,40	1,45	2,50	2,55	2,40
K	0,20	0,15	0,15	0,25	0,60	1,00
Na	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,15	0,15	0,20
S	2,55	2,30	3,90	5,45	6,50	8,45
T	2,95	2,60	6,40	7,70	9,25	9,50
S/T = V	86,40	88,50	60,90	70,80	70,30	88,90
ACIDE PHOSPHORIQUE						
P2 O5 Truog PPM	16	5	5			
P2 O5 total ‰	0,03	0,01	0,03			
ELEMENTS TOTAUX						
Ca O %	0,04		0,21		0,25	
Mg O %	tr.		tr.		tr.	
K2 O %	tr.		0,03		0,06	
Na2 O %	0,54		0,54		0,74	
Perte feu %	1,10		2,20		3,05	
Résidu %	93,65		82,10		74,90	
Si O2 %	1,70		7,80		11,35	
Al2 O3 %	0,75		4,50		6,75	
Fe2 O3 %	0,80		2,00		2,00	
Ti O2 %	tr.		♣ 0,30		♣ 0,40	
SiO2/Al2O3	3,84		2,93		2,85	
SiO2/R2 O3	2,27		2,26		2,41	
Fe2 O3 lib.%	0,46	0,42	0,99	1,17	1,01	6,04

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

T 341 kaolinite
traces d'illite

T 343 kaolinite

N° profil : T 11

Emplacement : Boum Kébir

Type de sol : sol beige à cuirasse ferrugineuse

Tableau IX

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	111	112	113	114	115
Profondeur cm	0-20	40-60	80-100	140-160	180-200
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	0,7	34,4
ANALYSE MECANIQUE					
Argile %	6,0	5,0	16,5	21,0	20,5
Limon fin %	4,5	5,5	5,5	5,0	5,5
Limon grossier %	9,5	7,5	7,5	4,5	7,5
Sable fin %	25,7	34,0	20,5	15,0	11,0
Sable grossier %	52,7	47,7	49,6	53,7	54,2
Mat. Org. %	1,2	0,2	0,2	négl.	négl.
Humidité %	0,4	0,1	0,2	0,8	1,3
CO3 Ca %	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE					
Carbone %	0,70	0,12	0,09		
Azote ‰	0,48	0,10	0,11		
C/N	14,6	12,0	8,2		
Mat. Humiques T	1,42	0,39	0,20		
C‰ Ac. Hum.	1,07	n.d.	n.d.		
Ac. fulv.	0,35	n.d.	n.d.		
REACTION					
pH eau	7,1	6,6	6,2	6,0	5,9
pH KCl	6,1	5,6	5,4	5,4	5,4
STRUCTURE					
Instabilité Is	0,75	1,45			

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	111	112	113	114	115	
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL						
Ca	1,40	0,90	0,90	1,40	1,50	
Mg	1,50	1,75	1,60	2,50	2,45	
K	0,25	0,15	0,20	0,35	0,15	
Na	0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,10	
S	3,25	2,80	2,70	4,25	4,20	
T	4,60	3,90	4,10	6,25	6,20	
S/T = V	70,60	71,80	65,90	68,00	67,70	
ACIDE PHOSPHORIQUE						
P2 O5 Truog PPM	25	6				
P2 O5 total ‰	0,23	0,08				
ELEMENTS TOTAUX						(1)
Ca O %	0,18		0,18	0,21	0,18	0,21
Mg O %	tr.		tr.	tr.	tr.	tr.
K2 O %	tr.		0,03	0,06	0,06	0,06
Na 2 O %	0,71		0,64	0,71	0,88	0,37
Perte feu %	2,25		2,20	4,20	7,15	9,30
Résidu %	90,30		82,55	70,05	44,45	21,70
Si O2 %	3,10		7,10	9,60	14,30	12,95
Al2 O3 %	1,80		4,45	6,50	9,70	16,45
Fe2 O3 %	1,60		1,95	7,80	23,20	39,00
Ti O2 %	0,45		0,85	0,80	0,45	0,30
SiO2/Al2O3	2,93		2,74	2,48	2,49	1,34
SiO2/R2 O3	1,82		2,14	1,41	0,98	0,53
Fe 2 O3 Lib.%	1,02	0,89	1,31	4,49	9,92	

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

T 111 - T 114 kaolinite
goethite faible (T 111), plus abondante (T 114)

(1) Refus 2 mm de l'échantillon 115. Concrétions ferrugineuses.

N° profil : T 1

Emplacement : Ifénat

Type de sol : sol brun rouge

Tableau X

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	11	12	13	14	15	16	17
Profondeur cm	0-5	5-25	60-80	110-120	150-170	180-200	240-260
Refus 2 mm %	tr.	0,4	0,4	0,5	0,4	2,1	15,1
ANALYSE MECANIQUE							
Argile %	3,0	4,0	7,0	7,5	6,5	1,5	1,5
Limon fin %	2,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,5	0,5
Limon grossier %	3,5	5,0	3,0	1,5	3,0	6,0	2,0
Sable fin %	35,0	31,8	36,5	37,5	35,5	36,5	25,0
Sable grossier %	56,2	57,4	52,0	51,0	53,0	54,4	70,9
Mat. Org. %	0,1	0,1	0,1	0,1	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,1	0,1
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE							
Carbone %	0,08	0,06	0,07	0,06			
Azote ‰	0,10	0,085	0,095	0,115			
C/N	8,0	7,1	7,4	5,2			
Mat. Humiques T	0,24	0,19	0,20	0,14			
C‰ Ac. Hum.	0,19	n.d.	0,13	0,05			
Ac. fulv.	0,05	n.d.	0,07	0,09			
REACTION							
pH eau	6,6	7,0	6,9	6,0	5,8	6,6	4,6
pH KCl	6,1	6,3	5,8	5,3	4,9	6,0	4,3
STRUCTURE							
Instabilité Is	0,40	0,45	0,85	1,20			

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	11	12	13	14	15	16	17	
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL								
Ca	1,00	0,85	1,15	1,20	1,70	0,40		
Mg	0,55	0,70	1,00	1,00	0,55	0,66		
K	0,15	0,20	0,35	0,40	0,40	0,10		
Na	<0,10	<0,10	0,10	0,10	0,10	<0,10		
S	1,70	1,75	2,60	2,70	2,75	1,10		
T	3,10	2,60	3,85	4,00	4,10	2,55		
S/T = V	54,80	67,30	67,50	67,50	67,10	43,10		
ACIDE PHOSPHORIQUE								
P2 O5 Truog PPM	21	2	18	6				
P2 O5 total ‰	0,12	0,12	0,16	0,13				
ELEMENTS TOTAUX								(1)
Ca O %		0,07		0,21		0,07		0,90
Mg O %		tr.		tr.		0,17		0,35
K2 O %		0,03		0,06		tr.		1,35
Na 2 O %		0,64		0,67		0,81		1,20
Perte feu %		0,65		1,15		0,40		12,56
Résidu %		94,60		90,65		95,10		0,85
Si O2 %		2,45		4,20		2,20		43,30
Al2 O3 %		0,90		2,20		1,00		32,00
Fe2 O3 %		0,60		0,90		0,50		5,00
Ti O2 %		tr.		tr.		tr.		0,90
SiO2/Al2O3		4,63		3,14		3,70		2,29
SiO2/R2 O3		3,23		2,46		2,85		2,08
Fe2 O3 lib.%	0,25	0,27	0,22	0,38	0,32	0,11	0,11	

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

kaolinite
montmorillonite
illite
goethite

(1) Fraction colloïdale < 2 µ. Echantillon T 14

N° profil : Bol 6

Emplacement : Bol

Type de sol : sol brun

Tableau XI

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	61	62	63	64
Profondeur cm	0-15	20-40	45-75	75-100
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE				
Argile %	3,0	3,0	2,0	1,0
Limon %	1,0	1,0	1,0	1,0
Sable fin %	25,0	23,0	20,0	20,0
Sable grossier %	70,0	72,0	76,0	77,0
Mat. Org. %	0,35	0,25	négl.	négl.
Humidité %	0,2	0,2	0,2	0,2
CO3 Ca %	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE				
Carbone %	0,2	0,15		
Azote ‰	0,19	0,15		
C/N	10,5	10,0		
Mat. Humiques T	0,45	0,22		
C‰ Ac. Hum.	0,37	0,13		
Ac. fulv.	0,08	0,09		
REACTION				
pH eau	7,4	7,5	7,0	6,5
pH KCl	6,8	7,0	6,4	6,1
STRUCTURE				
Instabilité Is	0,45	0,55	0,90	0,95

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	61	62	63	64
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL				
Ca	1,20	1,10	1,20	1,25
Mg	0,60	0,50	1,00	0,20
K	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Na	0,15	0,10	< 0,10	< 0,10
S	1,95	1,70	2,20	1,45
T	2,10	1,95	2,65	1,75
S/T = V	92,80	87,20	83,00	82,80
ACIDE PHOSPHORIQUE				
P2 O5 Total ‰	0,15	0,12	0,14	
ELEMENTS TOTAUX				
Ca O %	0,12		0,15	0,10
Mg O %	tr.		tr.	tr.
K2 O %	0,05		0,06	0,05
Na2 O %	0,52		0,58	0,80
Perte feu %	0,50		0,45	0,35
Résidu %	95,20		96,10	96,20
Si O2 %	2,40		2,10	1,95
Al2 O3 %	1,25		1,00	0,95
Fe2 O3 %	0,45		0,55	0,40
Ti O2 %	tr.		tr.	tr.
SiO2/Al2O3	3,25		3,56	3,49
SiO2/R2 O3	3,17		2,62	2,74

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

montmorillonite
kaolinite
illite

N° profil : T 42

Emplacement : Daloué

Type de sol : sol beige à taches et concrétions ferrugineuses à caractères d'hydromorphie marquée en profondeur.

Tableau XII

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	421	422	423	424	425	426
Profondeur cm	0-20	60-100	135-175	260-280	300-320	500-520
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	5,2
ANALYSE MECANIQUE						
Argile %	5,5	15,5	22,0	33,5	29,5	34,5
Limon fin %	5,0	4,0	3,0	4,5	5,5	5,5
Limon grossier %	9,0	6,5	4,5	4,5	6,0	5,5
Sable fin %	34,0	34,5	14,5	12,5	15,0	12,4
Sable grossier %	45,0	38,5	54,6	43,3	42,5	40,5
Mat. Org. %	0,9	0,2	0,1	négl.	négl.	négl.
Humidité %	0,6	0,8	1,4	1,7	1,5	1,6
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE						
Carbone %	0,50	0,13	0,08			
Azote ‰	0,25	0,14	0,115			
C/N	20,0	9,3	7,0			
Mat. Humiques T	0,78	0,27	0,08			
C‰ Ac. Hum.	0,60	n.d.	n.d.			
Ac. fulv.	0,18	n.d.	n.d.			
REACTION						
pH eau	6,8	6,7	6,4	5,5	5,2	5,3
pH KCl	6,0	5,7	5,5	4,8	4,8	4,8
STRUCTURE						
Instabilité Is	6,7	3,0				

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	421	422	423	424	425	426
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL						
Ca	2,15	2,95	3,35	3,60	3,15	3,50
Mg	2,10	1,05	1,45	2,80	1,75	1,90
K	0,20	0,20	0,20	0,25	0,30	1,35
Na	< 0,10	< 0,10	0,10	0,10	0,15	0,30
S	4,45	4,20	5,10	6,75	5,35	7,05
T	7,10	7,90	8,40	8,65	8,10	8,90
S/T = V	63,70	53,20	60,70	78,00	66,00	79,20
ACIDE PHOSPHORIQUE						
P2 O5 Truog PPM	95	88				
P2 O5 total ‰	0,42	0,45				
ELEMENTS TOTAUX						
Ca O %	0,25	0,25	0,25	0,28		0,28
Mg O %	tr.	0,10	0,17	0,17		0,10
K2 O %	0,06	0,06	0,15	0,09		0,09
Na2 O %	0,40	0,40	0,44	0,47		0,40
Perte feu %	1,75	2,30	3,30	4,95		5,60
Résidu %	90,90	81,85	76,20	62,15		56,10
Si O2 %	3,30	7,50	9,15	15,45		16,60
Al2 O3 %	2,05	5,20	5,85	12,75		14,55
Fe2 O3 %	1,20	1,35	2,35	2,65		6,05
Ti O2 %	* 0,40	* 0,80	* 0,80	* 0,80		* 0,85
SiO2/Al2O3	2,75	2,45	2,67	2,06		1,94
SiO2/R2 O3	1,96	2,08	2,11	1,81		1,53
Fe2 O3 lib. %	0,72	0,72	1,92	1,63		5,05

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE 2µ)

Echantillons T 421 - T 423 : kaolinite
illite faible
goethite faible

N° profil : T 3

Emplacement : SE du lac Iro

Tableau XIII

Type de sol : sol à taches et concrétions ferrugineuses à hydromorphie marquée dès la surface

	ANALYSE PHYSIQUE					ANALYSE CHIMIQUE			
N° échantillon	31	32	33	34	Numéro	31	32	33	34
Profondeur cm	0-10	10-30	40-60	80-100		BASES ECHANGEABLES M.E.POUR 100 GR.DE SOL			
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	6,7					
	ANALYSE MECANIQUE				Ca	1,50	0,65	0,80	0,95
Argile %	3,5	2,5	5,0	6,0	Mg	0,60	0,30	0,50	0,60
Limon fin %	2,0	1,0	2,5	1,5	K	0,20	0,10	0,15	0,10
Limon grossier %	5,5	6,5	3,5	5,5	Na	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Sable fin %	43,0	27,5	28,5	24,5	S	2,30	1,05	1,45	1,65
Sable grossier %	45,0	62,2	60,1	62,0	T	3,70	2,90	3,10	3,50
Mat.Org. %	0,7	0,2	0,2	0,2	S/T = V	62,20	36,20	46,80	47,10
Humidité %	0,3	0,1	0,2	0,3		ACIDE PHOSPHORIQUE			
CO3 Ca %	0	0	0	0					
	MATIERE ORGANIQUE				P2 O5 Truog PPM	17	2	1	21
Carbone %	0,43	0,14	0,12	0,09	P2 O5 Total %	0,08	0,11	0,13	0,14
Azote %	0,28	0,14	0,12	0,10					
C/N	15,4	10,0	10,0	9,0		ELEMENTS TOTAUX ET LIBRES			
Mat.Humiques T	0,49	0,21	0,15	0,17					
C% Ac.Hum.	0,34	n.d.	n.d.	0,03	Fe2 O3 lib.%	0,35	0,28	1,02	1,27
Ac.fulv.	0,15	n.d.	n.d.	0,14	Fe2 O3 tot.%	0,61	0,45	1,28	1,56
	REACTION					EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)			
pH eau	5,9	6,3	6,4	6,6		T 31 - T 33	kaolinite illite faible		
pH KCl	5,5	5,5	5,6	5,6					
	STRUCTURE								
Instabilité Is	0,5	0,3	0,7	0,6					

N° profil : D 33

Emplacement : Entre Ali Garga et le Chari (est de Mandélia)

Tableau XIV

Type de sol : sol à taches ferrugineuses, pseudo-mycélium et masses calcaires

	ANALYSE PHYSIQUE					ANALYSE CHIMIQUE			
N° échantillon	331	332	333	334	Numéro	331	332	333	334
Profondeur cm	0-5	5-15	40-60	80-100		BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR.DE SOL			
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.					
	ANALYSE MECANIQUE				Ca	2,30	3,90	14,75	13,85
Argile %	4,0	10,0	27,0	24,0	Mg	0,60	1,35	1,15	1,75
Limon %	4,0	6,8	3,2	3,9	K	0,20	0,25	0,25	0,20
Sable fin %	46,6	44,9	38,1	32,2	Na	0,15	1,25	2,55	2,65
Sable grossier %	44,4	37,1	28,2	37,4	S	3,25	6,75	18,75	18,45
Mat.Org. %	0,65	négl.	négl.	négl.	Na/Ca %	6,50	32,10	17,30	19,10
Humidité %	0,4	1,2	2,3	2,1		SELS SOLUBLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL			
CO3 Ca %	0	0	1,2	0	Ca			-	-
	MATIERE ORGANIQUE				Mg			0,55	0,35
Carbone %	0,38	n.d.	n.d.	n.d.	K			-	-
Azote %	0,55	n.d.	n.d.	n.d.	Na			2,15	2,25
C/N	6,9	-	-	-		REACTION			
					pH eau	6,4	6,4	8,8	9

N° profils A 59 - A 77 - Bo 35

Emplacement : N de Biltine (A 77)
O d'Abéché (A 59)
SW du lac Fitri (Bo 35)

Type de sol : sols bruns et brun-rouge

Tableau XV

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	771	772	773	591	592	593	594
Profondeur cm	0-20	50-70	100-120	0-20	60-80	160-180	220-240
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	5	5
	ANALYSE MECANIQUE						
Argile %	4,0	4,0	7,0	2,0	5,0	3,0	1,0
Limon %	3,0	4,0	4,0	2,0	1,0	2,0	2,0
Sable fin %	35,0	30,0	26,0	52,0	52,0	47,0	45,0
Sable grossier %	58,0	62,0	63,0	44,0	42,0	48,0	52,0
Mat. Org. %	0,22			0,45			
CO3 Ca %	0	0	0	0	0	0	0
	MATIERE ORGANIQUE						
Carbone %	0,13	n.d.	n.d.	0,25			
Azote ‰	0,14	n.d.	n.d.	0,26			
C/N	9,3			9,6			
Mat. Humiques T	0,25	0,20	0,12	0,29			
C‰ Ac. Hum.	0,17	0,12	0,05	0,17			
Ac. fulv.	0,08	0,08	0,07	0,12			
	REACTION						
pH eau	7,3	7,5	8,1	6,5	6,5	7	7,1

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	771	772	773	591	592	593	594
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL						
Ca	2,00	2,25	2,40	1,50	1,90	1,80	1,40
Mg	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
K	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	<0,10	<0,10
Na	0,20	0,10	0,50	0,10	0,10	0,15	0,10
S	2,35	2,45	3,00	1,70	2,10	1,95	1,50
T	2,40	2,60	2,90	2,30	2,40	2,20	2,10
S/T = V	97,9	94,2	sat.	73,9	87,5	88,6	71,4
	ELEMENTS TOTAUX (Fraction colloïdale < 2 µ)						
				Bo 352			
Ca O %		2,30		3,35	1,08		
Mg O %		1,25		1,75	0,66		
K2 O %		1,75		2,85	0,96		
Na2 O %		1,70		1,85	1,04		
Perte feu %		10,99		12,50	12,53		
Résidu %		1,40		2,70	1,74		
Si O2 %		39,25		43,65	40,02		
Al2 O3 %		23,00		18,00	24,00		
Fe2 O3 %		20,00		10,00	13,60		
Ti O2 %		1,30		0,90	0,90		
SiO2/Al2O3		2,90		4,12	2,83		
SiO2/R2 O3		1,86		3,03	2,07		

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

A 592 kaolinite
montmorillonite (
illite (faible

A 772 illite
kaolinite
montmorillonite plus faible

Bo 352 montmorillonite
kaolinite
illite plus faible

N° profil : Da 8

Emplacement : NE de Massaguet (N de Bir Barka)

Type de sol : sol brun à caractères d'hydromorphie

Tableau XVI

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	81	82	83	84	85
Profondeur cm	0-20	40-60	60-80	130-150	220-240
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
	ANALYSE MECANIQUE				
Argile %	3,0	10,0	7,0	2,0	1,0
Limon %	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0
Sable fin %	82,0	75,0	84,0	84,0	86,0
Sable grossier %	13,0	13,0	8,0	13,0	12,0
Mat. Org. %	0,31				
CO3 Ca %	0	0	0	tr.	tr.
	MATIERE ORGANIQUE				
Carbone %	0,18		n.d.		
Azote ‰	0,13		n.d.		
C/N	13,8		-		
Mat. Humiques T	0,54		0,15		
C‰ Ac. Hum.	0,40		0,10		
Ac. fulv.	0,14		0,05		
	REACTION				
pH eau	7,2	7,3	7,4	8,4	8,6
pH KCl	6,6	6,3	6,5	8,2	8,3

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	81	82	83	84	85
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL				
Ca	2,45	4,15	3,10	-	-
Mg	< 0,2	1,60	1,30	1,10	1,10
K	0,25	0,35	0,25	0,15	0,20
Na	0,20	0,25	0,20	0,25	0,20
S	2,90	6,35	4,85	-	-
T	3,20	6,40	4,80	-	-
S/T = V	90,6	sat.	sat.	sat.	sat.
	SELS SOLUBLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL				
Ca				0,50	0,50
Mg				0,20	<0,20
K				0,15	0,15
Na				<0,1	< 0,1

N° profil : D 28

Emplacement : SW d'Am Timan

Tableau XVII

Type de sol : sol jeune à faible action de nappe

N° échantillon	281	282	283
Profondeur cm	0-20	40-50	90-100
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE			
Argile %	36,0	27,0	15,0
Limon fin %	46,0	46,0	11,0
Limon grossier %	5,0	17,0	40,0
Sable fin %	3,0	5,0	33,0
Sable grossier %	4,0	1,0	1,0
Mat.Org. %	2,4	-	-
Humidité %	6	4,5	2
CO3 Ca %	tr.	0	0
MATIERE ORGANIQUE			
Carbone %	1,40		
Azote ‰	1,07		
C/N	13,0		
REACTION			
pH eau	6,9	6,9	7,5
pH KCl	5,4	5,8	5,9
STRUCTURE			
Instabilité Is	7,6	37,7	17,5
Perméabilité K cm/h	0,6	0,9	1,45

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	281	282	283
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL		
Ca	20,00	8,60	7,80
Mg	7,60	3,00	2,20
K	0,75	0,25	< 0,10
Na	0,45	0,80	0,60
S	28,80	12,65	10,60
	ACIDE PHOSPHORIQUE		
P2 O5 total ‰	0,6	-	-

N° profil : T 9

Emplacement : Bordure du Bahr Salamat

Tableau XVIII

Type de sol : sol jeune à caractères d'hydromorphie très accusés

N° échantillon	91	92	93	94	95
Profondeur cm	0-10	10-30	45-65	80-100	120-140
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE					
Argile %	16,0	19,0	22,0	29,0	38,0
Limon fin %	18,0	15,5	10,5	25,0	35,0
Limon grossier %	28,0	25,0	27,5	32,4	16,0
Sable fin %	30,0	24,3	36,9	9,5	6,3
Sable grossier %	3,9	3,2	0,4	0,4	0,6
Mat.Org.%	2,1	0,9	0,3	0,3	négl.
Humidité %	2,0	2,1	2,4	3,4	4,2
CO3 Ca %	0	0	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE					
Carbone %	1,19	0,55	0,18	0,17	
Azote ‰	0,62	0,36	0,22	0,21	
C/N	19,2	15,3	8,2	8,1	
Mat. Humiques T	5,12	3,01	0,83	0,69	
C‰ Ac.Hum.	3,82	2,48	0,67	0,52	
Ac.fulv.	1,30	0,53	0,16	0,17	
REACTION					
pH eau	5,6	5,6	6,0	6,5	6,7
pH KCl	4,9	4,7	5,0	5,3	5,8
STRUCTURE					
Instabilité Is	3,1	3,3	10,5		

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	91	92	93	94	95
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL				
Ca	6,10	5,40	5,25	9,50	15,75
Mg	5,40	5,40	5,10	8,25	12,15
K	0,50	0,56	0,60	0,75	0,80
Na	0,25	0,55	0,85	1,25	1,50
S	12,25	11,90	11,80	19,75	30,20
T	16,50	17,15	14,50	20,85	31,00
S/T = V	74,20	69,40	81,40	94,7	97,40
	ACIDE PHOSPHORIQUE				
P2 O5 Truog PPM	140	40	26		
P2 O5 total ‰	1,32	2,00	0,56		
	ELEMENTS TOTAUX ET LIBRES				
Fe2 O3 lib. %	1,82	2,16	2,32	3,11	3,77
Fe2 O3 total %	3,55	4,19	4,91	6,39	7,31

N° profil : T 49

Emplacement : près de Fort-Lamy

Type de sol : sol jeune à caractères hydromorphes et halomorphes

Tableau XIX

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	491	492	493	494	495
Profondeur cm	0-15	30-50	70-90	120-140	180-200
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE					
Argile %	23,5	29,5	24,0	33,5	18,0
Limon fin %	7,5	11,0	12,5	11,0	3,0
Limon grossier %	15,5	14,0	14,0	13,0	7,5
Sable fin %	45,5	39,5	44,5	37,5	66,5
Sable grossier %	4,8	3,0	2,5	1,8	3,4
Mat. Org. %	0,5	0,2	0,1	négl.	négl.
Humidité %	2,7	2,8	2,4	3,2	1,4
CO3 Ca %	0,6	0,5	0,4	0	0
MATIERE ORGANIQUE					
Carbone %	0,28	0,13	0,06		
Azote ‰	0,25	0,17	0,105		
C/N	11,2	7,6	5,7		
Mat. Humiques T	0,50	0,26	0,05		
C‰ Ac. Hum.	n.d.	n.d.	n.d.		
C‰ Ac. fulv.	n.d.	n.d.	n.d.		
REACTION					
pH eau	4,9	9,3	9,4	9,5	9,5
pH KCl	4,4	7,7	7,0	7,2	7,6
STRUCTURE					
Instabilité Is	4,2	16,5	4,2		

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	491	492	493	494	495	491	492	493	494	495
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL					SELS SOLUBLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL				
Ca	10,25	8,40	5,80	6,70	3,30	0,08	0,08	0,07	0,14	0,11
Mg	6,45	5,25	2,85	1,95	0,60	0,05	0,08	0,13	0,12	0,10
K	0,30	0,90	0,30	0,70	1,50	tr.	0,02	0,02	0,05	0,02
Na	0,65	1,50	1,55	1,25	1,40	0,13	0,50	0,75	0,71	0,67
S	17,65	16,05	10,50	10,60	6,80	0,26	0,68	0,97	1,02	0,90
SO 4						0,26	0,43	0,56	0,43	0,44
Cl						0,16	0,07	0,17	0,15	0,13
CO3 H						0,15	0,27	0,36	0,47	0,33
CO3						0,01	tr.	tr.	tr.	0,02
S						0,58	0,77	1,09	1,05	0,92
C mmhos à 25°C						0,65	0,89	1,18	0,70	0,89
	ACIDE PHOSPHORIQUE									
P2O5 Truog PPM	42	54	27			EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)				
P2 O5 total ‰	0,27	0,32	0,24							
	ELEMENTS TOTAUX					Echantillons T 491 - T 493 :				
Ca O %	0,98	0,84	0,49	0,32	0,19	montmorillonite				
Mg O %	0,50	0,50	0,63	0,67	0,42	kaolinite				
K2 O %	0,15	0,21	0,21	0,24	0,12	illite				
Na2 O %	0,47	0,67	0,71	0,84	0,61					
Perte feu %	3,75	4,25	3,65	4,30	2,10					
Résidu %	69,55	61,60	65,65	58,00	78,45					
Si O2 %	13,10	16,65	15,35	18,75	9,65					
Al2 O3 %	7,90	10,30	9,45	12,25	5,85					
Fe2 O3 %	3,00	4,00	3,40	4,55	2,45					
Ti O2 %	0,70	0,40	0,75	0,60	0,45					
SiO2/Al2O3	2,82	2,74	2,74	2,57	2,81					
SiO2/R2 O3	2,26	2,20	2,24	2,07	2,21					
Fe2 O3 lib. %	1,61	2,27	1,69	2,28	1,23					

N° profil : Ma 55

Emplacement : N de Dabazin
NW de Mangalmé

Type de sol : sol à caractères d'hydromorphie

Tableau XX

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	551	552	553	554
Profondeur cm	0-20	20-40	60-80	140-160
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE				
Argile %	8,0	35,0	37,0	38,0
Limon fin %	8,0	8,0	9,0	10,0
Limon grossier %	6,0	6,0	7,0	7,0
Sable fin %	19,0	14,0	14,0	13,0
Sable grossier %	58,0	35,0	30,0	29,0
Mat. Org. %	1,4			
Humidité %	1,0	3,0	3,0	3,0
MATIERE ORGANIQUE				
Carbone %	0,81			
Azote ‰	0,61			
C/N	13,30			
REACTION				
pH eau	6,3	5,5	5,5	6,2
pH KCl	5,3	4,2	3,9	4,5
STRUCTURE				
Instabilité Is	4,15	7,36	5,63	9,44
Perméabilité K cm/h	1	0,18	0,87	0,35

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	551	552	553	554
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL			
Ca	3,30	7,25	7,5	8,55
Mg	1,55	4,05	3,9	4,70
K	0,30	0,40	0,40	0,30
Na	0,15	0,20	0,40	0,45
S	5,30	11,90	12,20	14,00
	ACIDE PHOSPHORIQUE			
P2 O5 total ‰	0,15			
	ELEMENTS TOTAUX ET LIBRES			
Fe2 O3 lib. %	0,78	1,18		1,36
Fe2 O3 total %	1,42	3,46		3,85

N° profils : Ma 87
A 139

Emplacement : NE de Mangalmé (Ma 87)
SE d'Arada (A 139)
Type de sol : sols à caractères d'hydromorphie et d'halomorphie

Tableau XXI

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	871	872	873	874	875
Profondeur cm	0-2	2-15	15-35	60-80	100-120
Refus 2 mm %	62,5	8	4,5	4	
	ANALYSE MECANIQUE				
Argile %	8,0	14,0	32,0	30,0	30,0
Limon fin %	12,0	7,0	9,0	10,0	9,0
Limon grossier %	12,0	9,0	8,0	8,0	7,0
Sable fin %	16,0	33,0	24,0	23,0	25,0
Sable grossier %	52,0	37,0	27,0	29,0	29,0
Mat.Org. %	1,4	0,75	0,7		
Humidité %	0,5	1,0	2,6	2,4	2,4
CO3 Ca %	0	0	tr.	tr.	tr.
	MATIERE ORGANIQUE				
Carbone %	0,83	0,43	0,40		
Azote ‰	0,64	0,40	0,36		
C/N	13	10,8	11,1		
C‰ Mat.Humiques T	1,78	0,95	1,05		
C‰ Ac.Hum.	1,27	0,62	0,77		
C‰ Ac.fulv.	0,51	0,33	0,28		
	REACTION				
pH eau	6	7,3	8,8	9	9,3
pH KCl	5,1	6,2	6,8	6,9	6,9
	STRUCTURE				
Instabilité Is	2,7	3,7	7,7	7,9	
Perméabilité K cm/h	1,2	1,1	0,9	0,75	

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	871	872	873	874	875		A 139 (1)
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL						
Ca	2,55	7,20	17,70	18,55	19,05		
Mg	0,50	0,70	4,20	4,00	4,10		
K	0,20	0,25	0,25	0,15	0,10		
Na	0,40	0,15	2,90	4,25	5,20		
S	3,65	8,30	25,05	26,95	28,45		
T	5,40	10,20	25,0	26,50	28,50		
S/T = V	67,60	81,40	100	100	100		
Na/Ca échang.%	15,7	2,1	16,4	22,9	27,3		
	ACIDE PHOSPHORIQUE						
P2 O5 Total ‰	0,30	0,28					
	ELEMENTS TOTAUX						
Ca O %	0,70		0,90		0,85		3,22
Mg O %	0,10		0,45		0,50		1,32
K2 O %	0,20		0,25		0,25		0,36
Na2 O %	0,50		0,60		0,55		1,22
Perte feu %	2,80		4,70		4,50		11,31
Résidu %	87,80		62,50		60,45		1,28
Si O2 %	3,85		17,15		18,50		45,98
Al2 O3 %	1,65		7,65		7,90		24,00
Fe2 O3 %	1,50		4,20		4,00		9,20
Ti O2 %	0,50		1,30		1,40		1,30
SiO2/Al2O3	3,88		3,80		3,98		3,25
SiO2/R2O3	2,51		2,82		3,01		2,60
Fe2 O3 lib.%	0,80		2,10		1,90		
	SELS SOLUBLES M.E. POUR 100 GR.DE SOL						
Ca	0,10	0,10	< 0,10	< 0,10	0,10		
Mg	< 0,20	< 0,20	0,70	0,55	0,50		
K	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10		
Na	0,15	0,15	0,50	0,80	1,20		
Extrait sat. C à 25°	0,30	0,35	0,70	1,15	2,10		

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

Echantillon A 1392 montmorillonite
kaolinite

(1) fraction colloidale < 2 µ

N° profil : T 41

Emplacement : Eré
Type de sol : sol largement structuré dès la surface

Tableau XXII

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	411	412	413	414	415
Profondeur cm	0-20	55-75	105-125	240-260	340-360
Refus 2 mm %	tr.	5,5	19,6	2,4	tr.
	ANALYSE MECANIQUE				
Argile %	38,5	38,5	41,0	48,5	46,5
Limon fin %	10,0	10,0	10,5	11,5	10,5
Limon grossier %	7,5	8,5	8,5	9,5	7,5
Sable fin %	13,5	11,0	14,6	9,4	14,7
Sable grossier %	25,5	27,8	21,1	16,3	15,5
Mat.Org. %	1,0	0,3	0,3	négl.	négl.
Humidité %	4,0	3,9	4,0	4,8	5,3
CO3 Ca %	0	0	0,2	0,5	0
	MATIERE ORGANIQUE				
Carbone %	0,58	0,18	0,15		
Azote ‰	0,40	0,18	0,16		
C/N	14,5	10,0	9,4		
C‰ Mat.Humiques T	0,73	0,18	0,25		
C‰ Ac.Hum.	0,55	n.d.	n.d.		
C‰ Ac.fulv.	0,18	n.d.	n.d.		
	REACTION				
pH eau	6,9	7,6	7,9	8,2	7,4
pH KCl	5,6	6,5	6,8	7,1	5,8

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	411	412	413	414	415	411 (1)
	BASES ECHANGEABLES M.E.POUR 100 GR.DE SOL					
Ca	6,80	8,50	7,50	8,60	8,05	
Mg	9,90	10,40	11,10	15,80	17,10	
K	0,35	0,35	0,40	0,25	0,30	
Na	0,10	0,15	0,30	0,30	0,30	
S	17,15	19,40	19,30	24,95	25,75	
T	24,00	25,00	23,90	31,50	32,75	
S/T = V	71,5	77,6	80,75	79,20	78,6	
	ACIDE PHOSPHORIQUE					
P2 O5 Truog PPM	7	8				
P2 O5 total ‰	0,12	0,07				
	ELEMENTS TOTAUX					
Ca O %	0,32		0,84		0,70	0,52
Mg O %	0,33		0,38		0,52	0,60
K2 O %	0,09		0,12		0,12	0,46
Na2 O %	0,84		0,47		0,51	0,78
Perte feu %	5,30		6,10		5,90	12,80
Résidu %	46,25		53,25		46,75	1,26
Si O2 %	25,85		19,35		24,40	43,36
Al2 O3 %	12,60		13,50		14,90	28,80
Fe2 O3 %	5,80		5,05		5,40	8,40
Ti O2 %			* 0,65		* 0,50	1,40
SiO2/Al2O3	3,46		2,43		2,77	2,55
SiO2/R2 O3	2,66		1,96		2,25	2,15
Fe2 O3 lib.%	3,34	2,54	2,48	2,43	2,76	

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

Echantillons T 411 - T 413 kaolinite
illite faible (T 411 seulement)
goethite faible

(1) Fraction colloidale < 2 µ

N° profil : T 6

Emplacement : Koubo Abou Gara

Type de sol : sol à début de structuration fine dès la surface

Tableau XXIII

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	61	62	63	64	65	66
Profondeur cm	0-20	20-40	60-80	120-140	200-220	300
Refus 2 mm %	1,0	1,0	2,2	2,2	1,2	tr.
ANALYSE MECANIQUE						
Argile %	41,0	44,5	42,0	47,5	50,5	48,0
Limon fin %	10,0	10,0	11,0	10,5	12,0	10,5
Limon grossier %	11,0	9,5	10,5	9,0	10,0	9,5
Sable fin %	12,0	12,0	9,5	11,0	8,3	12,5
Sable grossier %	21,4	18,9	22,5	17,5	14,5	14,6
Mat.Org. %	0,9	0,5	0,4	négl.	négl.	négl.
Humidité %	3,7	4,6	4,1	4,5	4,7	4,9
CO3 Ca %	0,3	0,3	0,5	0,3	1,3	0,4
MATIERE ORGANIQUE						
Carbone %	0,55	0,29	0,26			
Azote %₀	0,48	0,265	0,22			
C/N	11,5	10,9	11,8			
Mat.Humiques T C%₀ Ac.Hum.	1,10	0,77	0,63			
Ac.fulv.	0,71	0,47	0,46			
	0,39	0,30	0,17			
REACTION						
pH eau	7,0	6,9	7,5	8,1	8,0	7,5
pH KCl	6,2	6,2	6,7	7,0	7,2	6,7

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	61	62	63	64	65	66	63 (1)
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL							
Ca	21,25	22,60	20,10	19,45	23,35	17,35	
Mg	8,10	8,60	9,50	8,60	10,85	12,70	
K	0,50	0,35	0,45	0,50	0,55	0,70	
Na	0,15	0,30	1,00	2,65	2,80	1,95	
S	30,00	31,85	31,05	31,20	37,55	32,70	
T	30,60	32,25	32,75	33,75	37,30	32,70	
S/T = V	98,0	98,8	94,8	92,4	100	100	
ACIDE PHOSPHORIQUE							
P2 O5 Truog PPM	25	13	1				
P2 O5 Total %₀	0,23	0,08	0,07				
ELEMENTS TOTAUX							
Ca O %	1,16		1,16		1,96		1,02
Mg O %	0,33		0,33		0,33		0,90
K2 O %	0,15		0,15		0,21		0,48
Na2 O %	0,84		0,81		1,01		0,64
Perte feu%	4,15		6,20		7,15		11,95
Résidu %	53,50		49,15		42,40		1,10
Si O2 %	20,20		20,95		24,50		45,10
Al2 O3 %	11,45		12,95		15,60		27,20
Fe2 O3 %	5,30		5,60		5,80		8,80
Ti O2 %	●1,65		●1,85		●1,00		1,25
SiO2/Al2O3	3,00		2,74		2,65		2,81
SiO2/R2O3	2,31		2,15		2,16		2,33
Fe2 O3 lib.%	2,68	2,87	2,94	2,87			

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

Echantillons T 61 - T 63

montmorillonite
kaolinite
illite faible (T 61 seulement)
goethite faible (T 61 seulement)

(1) Fraction colloidale < 2 µ

N° profil : T 51

Emplacement : sud de Fort-Lamy

Type de sol : sol argileux de bas-fond subissant une forte inondation semi-permanente

Tableau XXIV

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	511	512	513	514	515	516
Profondeur cm	0-7	7-25	45-65	120-140	180-200	250-270
Refus 2 mm %	tr.	tr.	2,2	5,4	1,4	tr.
ANALYSE MECANIQUE						
Argile %	39,0	45,0	43,0	42,0	45,0	4,0
Limon fin %	12,0	11,5	11,0	12,0	8,5	2,5
Limon grossier %	11,5	10,5	10,0	24,0	7,0	2,5
Sable fin %	28,5	23,0	27,5	14,5	30,5	88,0
Sable grossier %	3,8	5,1	3,6	3,0	4,1	2,5
Mat.Org. %	3,5	0,7	0,3	négl.	négl.	négl.
Humidité %	1,7	4,2	4,6	4,5	4,9	0,5
CO3 Ca %	0	0	0,5	0,3	0	0
MATIERE ORGANIQUE						
Carbone %	0,98	0,43	0,20			
Azote %₀	0,79	0,435	0,225			
C/N	12,4	9,9	8,9			
Mat.Humiques T C%₀ Ac.Hum.	1,62	1,29	0,45			
Ac.fulv.	1,49	0,76	0,44			
	0,13	0,53	tr.			
REACTION						
pH eau	5,5	5,9	7,5	8,4	8,6	7,9
pH KCl	4,3	4,7	6,6	6,8	6,9	6,5
STRUCTURE						
Instabilité Is	4,0	3,2	5,2			

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	511	512	513	514	515	516	512 (1)
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL							
Ca	9,45	13,90	18,80	18,05	17,90	7,95	
Mg	5,10	6,25	7,20	6,65	5,55	1,45	
K	0,60	0,60	0,95	0,30	0,50	0,40	
Na	0,35	0,90	1,60	1,30	1,30	0,30	
S	15,50	21,65	28,55	26,30	25,30	10,10	
T	24,10	26,40	28,65	28,00	26,70		
S/T = V	64,30	82,00	99,65	93,90	94,80		
ACIDE PHOSPHORIQUE							
P2 O5 Truog PPM	27	16	18				
P2 O5 total %₀	0,69	0,39	0,22				
ELEMENTS TOTAUX							
Ca O %	0,58		0,95		0,88		0,52
Mg O %	0,30		0,67		0,36		0,58
K2 O %	0,15		0,21		0,30		0,46
Na2 O %	0,67		0,74		0,78		0,50
Perte feu %	6,85		6,25		6,10		12,29
Résidu %	53,05		48,55		44,10		0,82
Si O2 %	20,10		23,00		25,35		46,10
Al2 O3 %	13,10		13,75		15,60		28,00
Fe2 O3 %	4,80		4,90		5,20		9,60
Ti O2 %	●0,85		●1,25		●0,90		1,10
SiO2/Al2O3	2,59		2,83		2,78		2,79
SiO2/R2 O3	2,10		2,30		2,26		2,29
Fe2 O3 lib.%	2,55	2,70	2,14	2,81	2,09	0,40	

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

Echantillons T 512 - T 614

montmorillonite
kaolinite
illite (plus faible dans le T 512)

(1) Fraction colloidale < 2 µ

N° profil : T 5

Emplacement : Doudel'
Type de sol : sol argileux de dépression à inondation temporaire

Tableau XXV

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Profondeur cm	0-3	3-20	40-60	60-80	90-110	160-180	240-300
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	6,2
ANALYSE MECANIQUE							
Argile %	58,0	63,0	63,0	63,5	67,0	68,5	30,5
Limon fin %	18,0	17,5	17,5	17,5	17,0	20,0	5,0
Limon grossier %	8,5	6,3	7,0	5,8	5,5	2,5	8,5
Sable fin %	2,7	3,0	2,0	2,6	1,6	1,5	15,4
Sable grossier %	5,3	3,7	4,0	3,9	2,7	0,4	38,3
Mat. Org. %	1,7	0,8	0,7	0,8	négl.	négl.	négl.
Humidité %	5,8	5,7	5,8	5,9	6,2	7,1	2,3
CO3 Ca %	0	0	0	0	tr.	tr.	0,7
MATIERE ORGANIQUE							
Carbone %	0,97	0,48	0,43	0,44			
Azote ‰	0,69	0,355	0,345	0,325			
C/N	14,1	13,5	12,5	13,5			
Mat. Humiques T	2,76	1,68	1,43	1,70			
C‰ Ac. Hum.	2,02	1,53	0,92	0,94			
Ac. fulv.	0,74	0,15	0,51	0,76			
REACTION							
pH eau	5,9	6,4	6,9	7,2	7,7	7,8	7,4
pH KCl	5,0	5,6	5,9	6,3	6,7	6,7	6,7
STRUCTURE							
Instabilité Is	1,65	3,65	4,30	3,95			

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL							
Ca	17,00	18,00	20,15	19,50	22,25	20,10	14,85
Mg	10,60	11,25	10,25	10,55	11,20	11,25	11,50
K	1,15	0,90	0,95	0,95	1,00	1,00	0,35
Na	0,40	0,80	1,20	1,00	1,45	1,40	0,65
S	29,15	30,95	32,55	32,00	35,90	33,75	27,35
T	41,70	45,30	41,95	42,80	43,40		
S/T = V	69,90	68,30	77,60	74,80	82,70		
ACIDE PHOSPHORIQUE							
P2 O5 Truog PPM	13	4	10	10			
P2 O5 total ‰	0,38	0,28	0,36	0,26			
ELEMENTS TOTAUX							
Ca O %	0,98		1,05		1,16		0,90
Mg O %	0,79		0,62		1,00		0,33
K2 O %	0,72		0,72		0,90		0,18
Na2 O %	0,88		0,34		0,88		0,84
Perte feu %	8,25		7,75		8,05		3,90
Résidu %	35,30		29,80		25,30		66,05
Si O2 %	28,35		32,15		33,50		13,75
Al 2O3 %	15,30		15,65		17,15		7,65
Fe2 O3 %	7,45		8,30		8,60		3,60
Ti O2 %	≠1,25		≠2,40		≠3,40		≠1,30
SiO2/Al2O3	3,14		3,48		3,31		3,04
SiO2/R2O3	2,39		2,60		2,50		2,33
Fe2 O3 lib. %	2,87	3,16	3,16	3,29	3,21		

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

Montmorillonite
Illite
Kaolinite

N° profil Da 15

Emplacement : Dabkaraye
Type de sol : sol argilo-sableux de dépression subissant une faible submersion

Tableau XXVI

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	151	152	153
Profondeur cm	0-20	20-40	50-70
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.
ANALYSE MECANIQUE			
Argile %	35,0	34,0	33,0
Limon %	9,0	10,0	8,0
Sable fin %	48,0	48,0	53,0
Sable grossier %	8,0	8,0	6,0
Mat. Org. %	0,52	-	-
Humidité %	-	-	-
CO3 Ca %	0	0	0
MATIERE ORGANIQUE			
Carbone %	0,30		
Azote ‰	0,36		
C/N	8,3		
REACTION			
pH eau	8	8,0	8,9

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE 2 µ)

Echantillon Da 153 — Montmorillonite, Kaolinite, Illite

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	151	152	153
BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL			
Ca	14,85	14,10	10,90
Mg	5,20	4,70	5,50
K	0,65	0,55	0,55
Na	2,50	7,80	10,45
S	23,20	27,15	27,40
Na/Ca échan. %	16,8	55,3	95,9
SELS SOLUBLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL			
Ca	0,30	0,10	0,10
Mg	0,20	0,45	0,20
K	0,10	0,15	0,15
Na	0,95	2,10	2,55
Extrait sat. C. à 25°	-	-	1,97
ELEMENTS TOTAUX (fraction 2µ)			
Ca O %	1,06		
Mg O %	0,82		
K2 O %	0,88		
Na 2 O %	0,94		
Perte feu %	12,44		
Résidu %	3,10		
SiO2 %	43,66		
Al2 O3 %	23,20		
Fe2 O3 %	9,60		
Ti O2 %	1,10		
SiO2/Al2O3	3,19		
SiO2/R2 O3	2,53		

N° profils : Mao 3 - 33 - 49

Emplacements : sols d'ouadis au nord du lac Tchad
Type de sol : Région de Mao.

Tableau XXVII

Echantillons	Kalala			Tiona			Youlou			
	31	32	33	331	332	333	490	491	492	493
Profondeur cm	0-20	50-70	80-100	0-20	50-70	60-100	0-1	1-20	40-60	100-120
Réaction	8,3	8,1	8,6	7,7	8,4	8,7	9,4	9 6	9,6	9,7
GRANULOMETRIE										
Sable grossier %	43,0	2,0	3,0							
Sable fin %	23,0	12,0	24,0							
Limon %	15,0	38,0	30,0							
Argile %	13,0	48,0	43,0							
CO3 Ca %	0	0	0	13	30	26	56	30	33	30
MATIERE ORGANIQUE										
Mat. Org. tot. %	5,5			4,7			1,6	3,06		
Azote total %	2,5			2,94			1,0	1,4		
Carbone %	3,2			2,78			0,95	1,78		
C/N	12,8			9,4			9,5	12,7		
BASES ECHANGEABLES										
Ca me %	10,1	10,4	5,0	-	-	-				
Mg me %	2,5	2,9	2,1	4,3	3,4	10,1				
K me %	0,3	0,3	0,3	1,8	1,4	1,1				
Na me %	0,2	0,3	0,2	0,6	0,9	0,8				
S me %	13,1	13,9	7,6							
SELS SOLUBLES (extrait de sat.)										
Ca me %	1,3	0,6	0,2				-	-	-	-
Mg me %	0,4	0,1	0,1				0,2	0,28	traces	-
K me %	0,1	0,1	0,1				44,6	37,5	34,5	31,2
Na me %	1,6	0,7	0,5				166	252	238	241
Extrait sat. C à 25°	4,02	1,02	0,54	20	17,2	14,6	115	102,5	99,3	97,5
Nappe profondeur en cm		95			450			non observée		
Conductivité en millimhos 25°		0,45			0,45					

N° profils : L 118
L 5
L 119

Emplacement : Palmeraie de Largeau
Type de sol : sols de la dépression du Borkou

Tableau XXVIII

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	1181	1182	1183	1184
Profondeur cm	0-20	40-60	120-140	160-180
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.
	ANALYSE MECANIQUE			
Argile %	30,0	45,0	60,0	70,0
Limon %	37,0	46,0	31,0	20,0
Sable fin %	22,0	3,0	1,0	1,0
Sable grossier %	7,0	2,0	2,0	1,0
Mat. Org. %	0,31	0,29		
Humidité %	4,0	5,5	6,0	7,5
CO3 Ca %	1,5			
	MATIERE ORGANIQUE			
Carbone %	0,18	0,17		
Azote ‰	0,29	0,20		
C/N	6,2	8,5		
	REACTION			
pH eau	8,7	8,1	7,5	7

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	1181	1182	1183	1184
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL			
Ca	-	9,75	6,85	7,80
Mg	4,45	12,00	10,00	12,50
K	15,00	10,55	6,10	7,45
Na	14,80	4,35	3,10	3,35
S	-	36,65	26,05	31,00
	SELS SOLUBLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL			
Ca	0,2	0,15		
Mg	0,55	-		
K	0,60	0,30		
Na	1,00	0,40		
Extrait de saturation C à 25 °	1,1	1		
	ELEMENTS TOTAUX (fraction colloïdale < 2 µ)			
Numéro		51	1194	
Ca O %		0,66	0,50	
Mg O %		0,50	0,58	
K2 O %		4,00	1,38	
Na2 O %		3,30	1,18	
Perte feu %		7,23	6,07	
Résidu %		22,98	25,94	
Si O2 %		41,30	35,30	
Al2 O3 %		9,50	10,80	
Fe2 O3 %		6,80	5,00	
Ti O2 %		0,50	0,60	
Si O2/Al2 O3		7,37	5,53	
Si O2/R2 O3		5,04	4,25	

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

Echantillons L 51 - L 1194 quartz
illite
montmorillonite
kaolinite

Emplacement : polder de Bol Guini (BG 25 - BG 4 - BG 7 - BG 179)
polder de Madirom (H 108)
polder de Kouloudia (H 52)

Type de sol : sols exondés artificiellement

N° profils : BG 25
BG 4
BG 7
BG 179
H 108
H 52

Tableau XXIX

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	251	252	253	254
Profondeur cm	0-20	50-60	75-95	130-150
Refus 2 mm %	tr.	tr.	tr.	tr.
	ANALYSE MECANIQUE			
Argile %	41,0	65,0	68,0	72,0
Limon fin %	20,0	11,0	10,0	8,0
Limon grossier %	3,0	2,0	4,0	2,0
Sable fin %	8,0	5,0	6,0	6,0
Sable grossier %	16,0	5,0	1,0	2,0
Mat.Org. %	7,6	7,9	5,5	5,2
Humidité %	4,5	4,5	6,0	6,0
CO3 Ca %	4,4	2,7	1,2	tr.
	MATIERE ORGANIQUE			
Carbone %	4,4	4,6	3,2	3,0
Azote ‰	3,4	3,8	3,1	2,8
C/N	12,9	12,1	10,3	10,7
	REACTION			
pH eau	7,9	7,6	8,1	8,3

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	251	252	253	254
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR.DE SOL			
Ca	-	-	-	30,40
Mg	17,40	19,40	18,20	12,40
K	5,00	1,05	1,10	1,20
Na	0,95	0,80	1,20	1,30
S	-	-	-	45,30
T	-	-	-	-
S/T = V	-	-	-	-
	ACIDE PHOSPHORIQUE			
P2 O5 total ‰	2,65	3,15	2,40	
	SELS SOLUBLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL			
Ca	1,60	2,60		
Mg	0,70	0,80		
K	3,15	0,65		
Na	1,30	1,20		
S cations	6,75	5,25		
CO3 H	5,10	4,90		
SO4	0,2	-		
Cl	1,5	1,25		
S anions	6,8	6,15		
Extrait de saturation C à 25°	3,2	2	1,5	1,2

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2 µ)

Echantillons : BG 44 - 74 - 1794 — montmorillonite - kaolinite - illite
H 1082 - 522 — kaolinite - montomorillonite - illite

N° profils I 15 H 7

Emplacement : Iriri (I 15)
Hadjer el Hamis (H 7)

Type de sol : sols inondés en permanence. Polder en cours d'assèchement (I 15)
Bordure sud du lac Tchad (H 7)

Tableau XXX

ANALYSE PHYSIQUE

N° échantillon	151	152	153	71	72
Profondeur cm	0-10	20-30	60-80	0-20	60-80
	ANALYSE MECANIQUE				
Argile %	25,0	48,0	65,0	21,0	68,0
Limon fin %	24,0	12,0	8,0	12,0	8,0
Limon grossier %	8,0	6,0	5,0	-	-
Sable fin %	21,0	10,0	5,0	38,0	11,0
Sable grossier %	9,6	9,0	4,7	21,0	4,0
Mat.Org. %	9,6	8,4	7,7	4,2	1,8
Humidité %	4,0	6,0	6,0	4,2	7,2
CO 3 Ca %	2,4	tr.	tr.	0	0
	MATIERE ORGANIQUE				
Carbone %	5,6	4,9	4,5	2,42	1,03
Azote ‰	4,9	4,6	4,1	1,84	1,11
C/N	11,4	10,6	11,0	13,1	9,3
	REACTION				
pH eau	6,8	7,1	7,3	6,6	7

ANALYSE CHIMIQUE

Numéro	151	152	153	71	72
	BASES ECHANGEABLES M.E. POUR 100 GR. DE SOL				
Ca	15,10	16,80	20,40	11,90	21,05
Mg	7,30	8,20	12,50	4,20	7,15
K	1,80	2,10	1,65	2,50	1,95
Na	0,85	0,65	1,10	0,25	0,55
S	25,05	27,75	35,65	18,85	30,70
Extrait de sat. C à 25 °	1,2	0,8	0,6		

EXAMEN AUX RAYONS X (FRACTION COLLOIDALE < 2µ)

Echantillon H 72 : kaolinite
montmorillonite
illite

IV - LES PROCESSUS DE PEDOGENESE

L'étude de l'évolution des sols en milieu tropical humide à sec, subdésertique à désertique, conduit à celle de processus bien distincts qui sont en liaison avec les facteurs climatiques. Le sol dans sa phase évoluée doit se trouver en état d'équilibre avec ceux-ci et en même temps avec sa végétation; cet état d'équilibre et le type d'évolution ne sont pas toujours faciles à percevoir du fait d'alternances climatiques variées au Quaternaire qui ont laissé leurs empreintes. L'évolution des sols vers cet état d'équilibre requiert d'autre part des temps plus ou moins longs suivant le processus évoqué. Si certains, comme l'hydromorphie, l'halomorphie, peuvent se développer en de très courts délais (quelques dizaines ou centaines d'années), la ferrallitisation va nécessiter des temps beaucoup plus longs à l'échelle de plusieurs dizaines de millénaires. Une telle évolution ne pourra donc s'élaborer que si la phase climatique a une durée assez longue ou sinon elle se marquera peu.

Il existe une zonalité des sols assez remarquable dans toute cette partie de l'Afrique qui reflète les agressivités différentes des divers climats. Celles-ci seront fonction de l'intensité des précipitations, des valeurs de la température et de l'évaporation, en fait finalement de quantités d'eau qui vont percoler dans le sol, favorisant le développement d'une végétation plus ou moins dense. Les produits de décomposition de cette dernière en solution dans les eaux de drainage seront les agents responsables des altérations qui vont se produire dans les sédiments ou les roches. Nous avons donc cherché dans ce chapitre à mettre l'accent sur le type de matière organique qui correspond aux différentes pédogenèses, les produits amorphes que l'on observe (fer, silice, alumine), l'état de cristallisation du matériau argileux pouvant amener soit des destructions, soit des néosynthèses.

1. F E R R A L L I T I S A T I O N

Ce terme s'est substitué à celui imprécis et plus communément employé de latéritisation. Il traduit une altération intense et profonde des minéraux silicatés, à l'exception du quartz plus lentement solubilisé, altération qui aboutit à l'entraînement de la silice et des bases et à la libération des hydroxydes de fer et d'alumine.

Ces minéraux silicatés peuvent être :

- des roches basiques (basalte, amphibolite, diorite ...) ou acides (granite, rhyolite) constitués d'amphiboles, pyroxènes, feldspathoïdes, feldspaths, micas, ...
- des minéraux argileux (montmorillonite, illite ... kaolinite).

1.1. ALTERATION DES MINERAUX SILICATES

LACROIX (1913-1926), MILLOT-BONIFAS (1955), WOLLAST (1961), ALEXANDER CADY (1962), STEPHEN (1963), DELVIGNE (1965) ont mis en évidence les substitutions de plagioclases, d'orthose, de néphéline, ... par de la gibbsite qui s'accompagnent dans la roche de départ d'éléments d'une perte de poids et de volume aboutissant à un faciès poreux, le faciès "pain d'épice".

Ce processus de ferrallitisation était défini autrefois comme le résultat d'une hydrolyse alcaline qui provoquait à pH élevé l'entraînement de la silice. Le pH nécessaire à la formation des ions siliciques migrants devait être de 11 (1). Aucun pH aussi fort n'est relevé dans la nature, que ce soit au contact de la roche mère en voie d'altération (LENEUF, 1959) ou dans les eaux de percolation ainsi que l'avaient pensé LAPPARENT (1930), GEDEON (1951), BARDOSSY (1959) pour expliquer la genèse de certaines bauxites liées au calcaire.

---

(1) KELLER (1958) estime de la façon suivante la gamme des pH utiles :
pH > 10 libération de silice et alumine
pH 7 à 9,5 libération de silice, alumine immobile avec formation de trihydrate
pH 4,5 à 7 silice et alumine immobiles.

En laboratoire, par contre, et en milieu concentré, STEVENS et CARRON (1948) par broyage des minéraux et corrélativement libération des bases, obtinrent un "pH d'abrasion" élevé (1) de leur solution qui permettait alors la solubilisation de la silice.

Pour PEDRO (1964), après des expériences sur l'altération accélérée des roches (basalte, trachyandésite, granite) effectuées dans un appareil de type Soxhlet parcouru par un courant d'eau à 70°, le pH des eaux d'extraction est beaucoup moins élevé (7,2 à 9,5 en fonction de la roche dans la phase préliminaire, puis 7 à 7,6 ensuite). Il aboutit dans tous les cas, après 2 années d'expérience, à l'élimination de la silice et des bases de ces roches et à une accumulation d'alumine sous forme de gibbsite ou de boehmite.

La même expérience effectuée par ce même auteur avec une eau chargée de CO_2 (pH 4) donne également une accumulation de gibbsite malgré des eaux de percolation à faible pH (4,4 à 5,5). Il apparait donc que, quel que soit leur pH, des eaux circulant librement sont susceptibles de produire des hydroxydes d'alumine en partant de roches acides ou basiques et ceci plus ou moins rapidement.

1.2. ALTERATION DES MINERAUX ARGILEUX

1.2.1. Montmorillonite, illite ... minéraux 2/1

Leur altération est possible en milieu bien drainé favorisant l'élimination de la silice et des bases, ce qui explique leur maintien à la base des profils sur roche mère peu drainante (LENEUF 1959), tandis qu'ils disparaissent dans la partie supérieure de ceux-ci où ne subsistent plus alors que kaolinite et goethite.

Des observations identiques ont été faites par SEGALEN (1957) sur basaltes à Madagascar, par P.NYE (1955) sur gneiss en Nigéria, par BONIFAS (1959) sur dunite en Guinée.

De même les horizons supérieurs de certains sols à alcalis en zone tropicale sèche sous de faibles pluviométries (500 mm) subissant un drainage superficiel intense vont présenter de la kaolinite dominante, tandis que les horizons inférieurs seront à montmorillonite (Tchad).

CORRENS (1961) montre par des essais de lessivage à pH 7 sur des argiles $< 1\,\mu$, que la silice de la kaolinite est 10 fois plus soluble que l'alumine et que celle de la montmorillonite l'est 200 fois plus.

---

(1) Amphibole, pyroxène, feldspathoïde, albite — pH 10-11
Feldspath, aegyrine, hypersthène, biotite — 8-9
Quartz, argile, muscovite — 6-7

1.2.2. K a o l i n i t e

L'altération de la kaolinite est par contre un phénomène plus récemment admis, puisque ce minéral a été longtemps considéré comme stable (MOHR 1944, WAEGEMANS 1961). Si cette stabilité est réelle dans certaines conditions de pluviométrie et drainage moyens, il n'en va pas de même lorsque ces deux facteurs s'accusent conjointement. L'on assiste alors à la désilicification de cette dernière et à la formation de bauxite. C'est le cas signalé au Tchad au site de Koro où des argilites kaoliniques du Continental Terminal ont donné naissance à des bauxites.

Des faits analogues sont enregistrés au Queensland par LOUGHNAN et BAYLISS (1961), par WOLFENDEN (1961) à Sarawak, par FRIPIAT (1958) et D'HOORE (1954) au Congo (1). Ces argiles kaoliniques sont, soit des formations sédimentaires, soit des produits d'altération de roches silicatées.

Dans les sols, le phénomène de remplacement de la kaolinite par de la gibbsite est bien connu et signalé par de nombreux auteurs (SEGALEN Madagascar 1957 - BONIFAS Guinée 1959 ...).

De même, en laboratoire, l'altération de la kaolinite après attaque par des acides faibles ou des solutions salines a pu être constatée, soit que l'on extrait de l'alumine, soit que l'examen au microscope électronique révèle l'altération des cristaux (MUKHERJEE et al. 1948 - D'HOORE 1954 - GASTUCHE et al. 1954-1959).

1.3. FACTEURS D'EVOLUTION DES SOLS ROUGES FERRALLITIQUES

Le degré d'évolution du sol est la marque de l'agressivité du climat qui se manifeste soit directement (intensité des précipitations, température, ...), soit indirectement (décomposition de la matière organique avec formation de produits solubles ou pseudo-solubles qui vont migrer dans le sol et le transformer ...).

1.3.1. L e s f a c t e u r s c l i m a t i q u e s.

La zone tropicale humide est caractérisée par différents types de climats à température et pluviométrie particulières :

---

(1) et plus anciennement par MEAD (1915) en Arkansas, HARRISSON (1933) en Guyane britannique.

- température à moyenne annuelle supérieure à 20°;
- pluviométrie élevée supérieure à 1000 ou 1200 mm, répartie en une ou deux saisons des pluies annuelles d'une durée de 5 à 6 mois.

Ces deux principaux facteurs liés se traduisent par un indice de drainage calculé (AUBERT-HENIN 1945) (1) supérieur à 200 mm (2).

Dans des conditions climatiques requises de température et de pluviométrie, le processus de ferrallitisation n'a pas toujours pour résultat le départ de silice et l'accumulation d'alumine. Lorsque le drainage est insuffisant (drainage interne ralenti en liaison avec la nature de la roche, engorgement d'horizons profonds par une nappe, ...), le profil va rester gorgé d'eau, soit partiellement, soit en totalité. L'on assiste alors à la genèse de kaolinite à partir des produits d'altération (SiO_2 - Al_2O_3). Elle est accompagnée de goethite. La kaolinite peut envahir tout le profil dans des conditions particulièrement mauvaises, soit la base seulement si la partie haute du profil est bien drainée. Dans le premier cas, nous allons obtenir des sols rouges ferrallitiques dont le rapport moléculaire SiO_2/Al_2O_3 sera voisin de 2 et que PALLMANN (1947) voulait appeler fersiallitiques.

Ceci explique que, dans la zone équatoriale de forêt dense sous des pluviométries de 3 à 4 m sur matériau peu perméable où l'engorgement par la nappe est permanent, se développent des sols rouges ferrallitiques à kaolinite dominante et à faible quantité de gibbsite (WAEGEMANS 1951 - SYS 1961, Congo belge - LENEUF 1959, Côte d'Ivoire) alors que dans la zone humide de Madagascar (SEGALEN 1957) où le drainage est bon, le minéral essentiel de ces sols rouges demeure la gibbsite.

La coexistence kaolinite-gibbsite semble donc de règle dans les zones tropicales humides.

Au Tchad, dans la partie où s'observent des sols ferrallitiques, soit entre les 8ème et 10ème parallèles, les pluviométries varient entre 350 mm et 550 mm pour des températures voisines de 28° et un indice de drainage calculé de 300 à 50 mm. Nous passons progressivement du régime tropical semi-humide (climat soudano-guinéen) au régime tropical sec (climat sahélo-soudanien) où les deux saisons sont de plus en plus tranchées et où le sol, très humide pendant une partie de l'année, est très sec pendant l'autre fraction. L'altération de la roche mère va diminuer progressivement en profondeur, au fur et à mesure que nous passerons du climat tropical semi-humide au climat tropical sec, en même temps que l'évaporation aura de plus en plus tendance à l'emporter sur le drainage. Les altérations profondes (8 - 10 m et plus) que l'on observe par taches résiduelles (buttes témoins) dans la partie la plus septentrionale ne peuvent donc être que les vestiges d'une ancienne pédogenèse.

---

(1) $D = \frac{\gamma' P^3}{1 + \gamma' P^2}$ $\gamma' = \alpha T$ $\alpha = \frac{1}{2}$ argile - 1 limon - 2 sable

C'est le chiffre moyen de 1 qui est retenu ici. P = pluviométrie moyenne annuelle en m. T = température moyenne annuelle

(2) Pour un indice de drainage identique en milieu tempéré avec des températures inférieures à 20°, se produit la podzolisation.

Au sud du 9ème parallèle, où les sols ferrallitiques sont en surfaces étendues relativement continues sous une pluviométrie supérieure à 1000 mm, le problème de leur actuelle formation peut se poser. Nous avons vu que l'on y distinguait :

- une surface ancienne marquée par le gisement de bauxite de Koro;
- une surface actuelle ou subactuelle en voie de démantèlement constituée par des sols rouges faiblement ferrallitiques.

Dans le premier cas, l'altération est profonde (une dizaine de mètres) et la roche mère constituée par une argilite kaolinique d'origine lacustre. La gibbsite prédomine dans toute la partie altérée où les rapports SiO_2/Al_2O_3 sont faibles (voisins de 0,1). Une telle altération n'a pu s'effectuer que sous des pluviométries élevées, en milieu bien drainé nécessitant un site tel qu'un plateau où les cours d'eau s'encaissaient profondément et où aucune nappe de faible profondeur ne subsistait. L'épaisseur de la partie altérée ne saurait surprendre si l'on admet que l'altération s'est faite progressivement dans une roche mère initialement certes peu perméable, mais que la période d'altération a dû avoir une très longue durée.

La protection du site de Koro a été effectuée après le démantèlement de cette première surface, grâce à l'apparition d'une induration superficielle ferrugineuse formant une véritable cuirasse au sommet des collines.

A l'inverse, les sols rouges de l'actuelle ou subactuelle surface, sont faiblement ferrallitiques avec des rapports SiO_2/Al_2O_3 proches de 2. Ils sont uniquement à kaolinite. Il y a peu ou pas de gibbsite. Un niveau versicolore vers 5-6-7 m évoque la présence de nappe ancienne (1) et des phénomènes de dissolution et de redistribution du fer sous forme réduite qui ont pu donner naissance localement à des cuirasses ferrugineuses.

Le drainage calculé dans la partie sud du Tchad est supérieur à 200 mm (D = 200 à 300 mm pour α limon = 1). Or, les horizons superficiels des sols rouges (60 à 80 cm) ont une instabilité structurale faible, une perméabilité et une porosité élevées (D proche des sols sableux : 469 mm à Fort-Archambault) tandis que l'horizon B sous-jacent argilo-sableux est très différent malgré d'abondants pseudo-sables (D proche des sols argileux : 167 mm à Fort-Archambault). Nous sommes donc ici à la limite de la ferrallitisation théorique définie par AUBERT-HENIN (D supérieur à 200 mm pour α = 1).

Cette surface actuelle de sols rouges du Sud paraît se raccorder aux buttes témoins de la partie Nord. Elle serait de ce fait elle-même ancienne bien qu'ayant subi plusieurs rajeunissements. Si les caractères hérités prédominent encore sur les plateaux dans des parties où elle est en voie de démantèlement (bordure de plateaux, vallée ...), les sols rouges font place à des sols clairs lessivés en argile et fer.

---

(1) La nappe actuelle est à une vingtaine de mètres ou plus profonde, 50-60 m, 100 m.

1.3.2. La matière organique

Sous de très fortes pluviométries (climat équatorial ou tropical humide), en milieu bien drainé, la décomposition de la matière organique est rapide et continue et donne une forte quantité de produits solubles ou faiblement polymérisés (1).

L'examen de la matière organique des sols rouges du Tchad va nous apporter un premier élément d'appréciation de la pédogenèse actuelle. La figure 168 et le tableau ci-après mettent en parallèle l'analyse de la matière organique de sols prélevés au Tchad sous différentes pluviométries et d'un sol ferrallitique de Côte d'Ivoire sous pluviométrie de 1700 mm, formé sur granite en milieu mal drainé dont le rapport $SiO_2/Al_2O_3 = 1,7$. Ce dernier, pris parmi de nombreux exemples analogues (DABIN 1967), présente une très grande abondance d'acide fulvique dès l'horizon supérieur (près de 50%), tandis que le diagramme d'électrophorèse des acides humiques montre une prédominance d'acides humiques bruns (38%) et peu d'acides humiques gris (9%). En profondeur, la prédominance des acides fulviques est encore plus élevée (78%). Des analyses identiques effectuées sur des sols ferrallitiques d'Afrique ou de Madagaccar sous des pluviométries voisines ou plus élevées, donnent des résultats analogues (2).

Dans les sols du Tchad, à l'inverse, il y a dominance dans l'horizon de surface des acides humiques (72 à 85% si l'on excepte l'échantillon Ma 31 pris dans une position topographique favorisant une érosion en nappe assez forte). Parmi les acides humiques, les gris dominent tandis que les bruns sont moins importants. En profondeur, nous trouvons la prépondérance des acides fulviques.

Il existe donc une différence très nette entre la matière organique de ces sols et ceux soumis à de plus fortes précipitations. Ceci semble en liaison avec le couvert végétal où prédomine une savane arborée dense accompagnée d'un haut et abondant tapis graminéen, alors qu'en climat équatorial ou tropical très humide, il s'agit d'une forêt de type ombrophile à régénération facile sans tapis graminéen. Le cycle biologique des graminées a pour résultat une active remontée des éléments nutritifs vers la surface qui favorise ainsi la polymérisation plus grande des substances humiques.

---

(1) LAUDELOUP-MEYER-PEETERS (1960) et DOMMERGUES (1963) estiment à 10-15 tonnes/ha la matière organique sèche retournant annuellement au sol par la litière contre 2 à 4 tonnes en milieu tempéré. La vitesse de minéralisation en milieu équatorial serait de 5 à 10 fois plus forte, d'où une mise en réserve sous forme d'humus beaucoup plus faible.

(2) Les résultats analytiques de matière organique sont voisins de ceux trouvés par DUCHAUFFOUR (1965) pour des sols de régions tempérées (podzol, sol podzolique). Nous reproduisons une analyse que nous avons faite d'un de ces sols prélevé dans les Vosges.

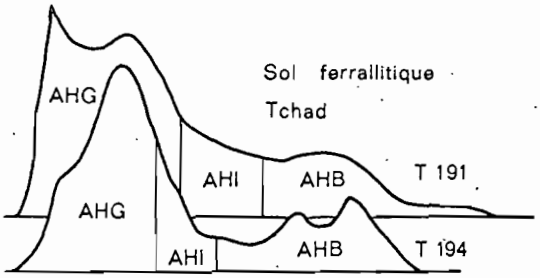
Origine	Pluvio-métrie	MHT ‰ (1)	AHG % (2)	AHI % (3)	AHB % (4)	AF % (5)
Côte d'Ivoire						
CI_1 (0-20 cm)	1700 mm	2,74	8,75	4,75	37,95	48,55
CI_2 (20-50 cm)		1,81		21,6		78,4
Tchad						
T 191 (0-20 cm)	1300 mm	1,72	51,9	12,6	16,9	18,6
193 (60-80 cm)		0,55	36,0	4,5	14,1	45,4
194 (120-140 cm)		0,42	5,9	1,5	1,1	91,5
T 211 (0-20 cm)	1100 mm	1,80	36,4	10,1	25,2	28,3
213 (90-110 cm)		0,38	11,3	1,6	11,9	75,2
Ma 31 (0-10 cm)	530 mm	0,355	22,1	8,4	16,0	53,5
33 (90-110 cm)		0,22	8,6	3,4	6,2	81,8
T 351 (0-20 cm)	1000 mm	0,87	51,3	12,2	21,2	15,3
353 (90-110 cm)		0,23	4,5	1,4	2,8	91,3
France (Vosges)						
Podzol						
A_1 (5-12 cm)		7,5	16,35	6,25	66,7	10,7
A_2 (12-35 cm)		2,3	41,65	7,85	41,8	8,7
Bh (35-53 cm)		19,7	7,4	2,45	14	76,15
BFe (67-85 cm)						≠ 100

(1) MHT Matière humique totale
(2) AHG Acide humique gris
(3) AHI Acide humique intermédiaire
(4) AHB Acide humique brun
(5) AF Acide fulvique

Les horizons supérieurs des sols ferrugineux tropicaux que nous étudierons en suivant ont une composition voisine de celle des sols rouges du Tchad (1). Il y a de même peu de différence dans la composition de la matière organique entre un sol rouge du Sud (P 1300 mm) et un du Nord (P 530 mm). Ceci tend à prouver que l'évolution de la matière organique y est actuellement sensiblement la même, en corrélation avec une savane arborée plus ou moins dense à important tapis graminéen.

(1) Ch.THOMANN (1964) a fait des observations identiques sur des sols de Casamance (Sénégal)

Electrophorèses



AHG Acide humique gris
AHI Acide humique intermédiaire
AHB Acide humique brun

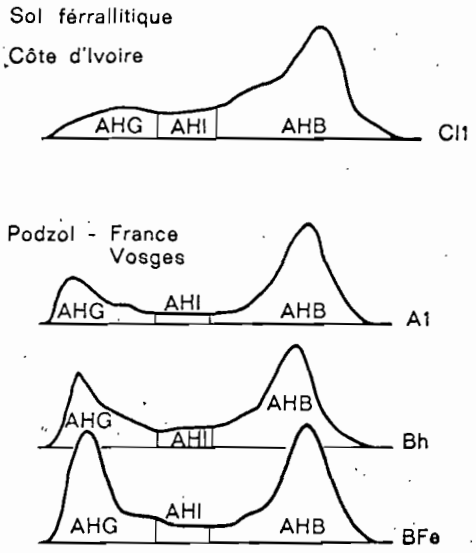


Figure 168

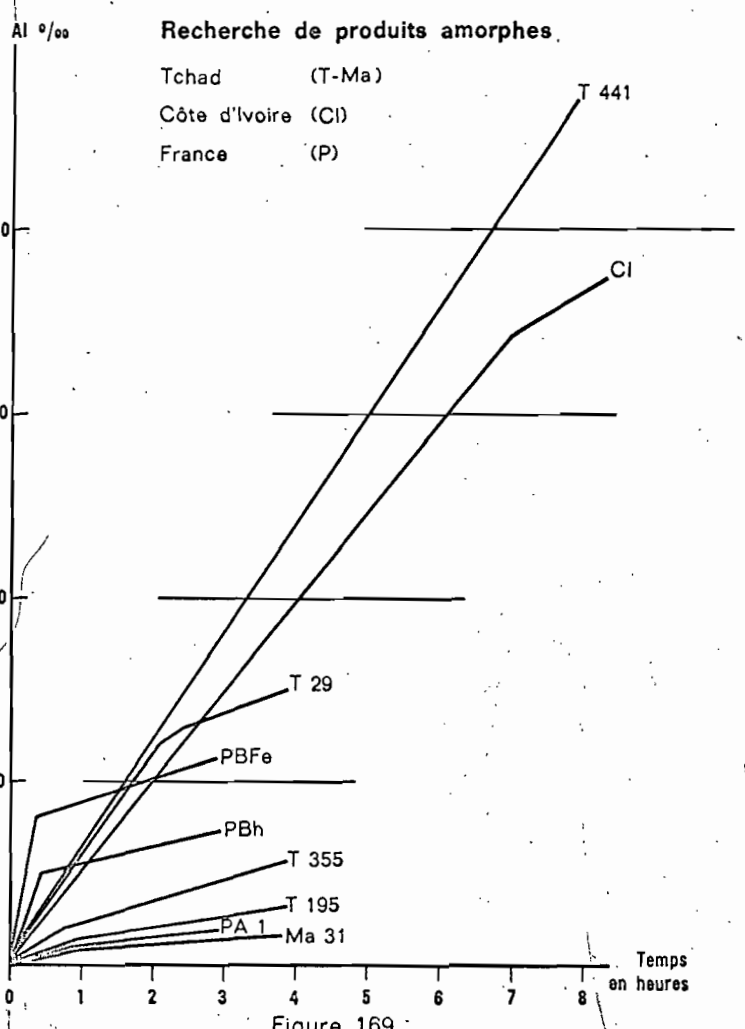


Figure 169

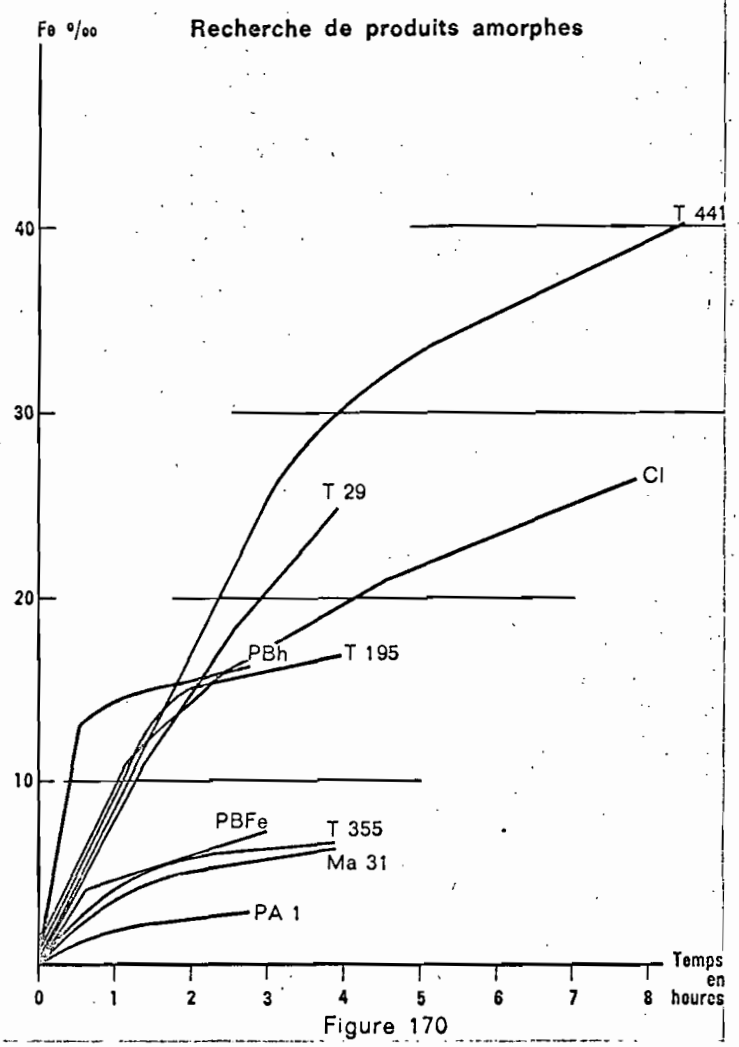
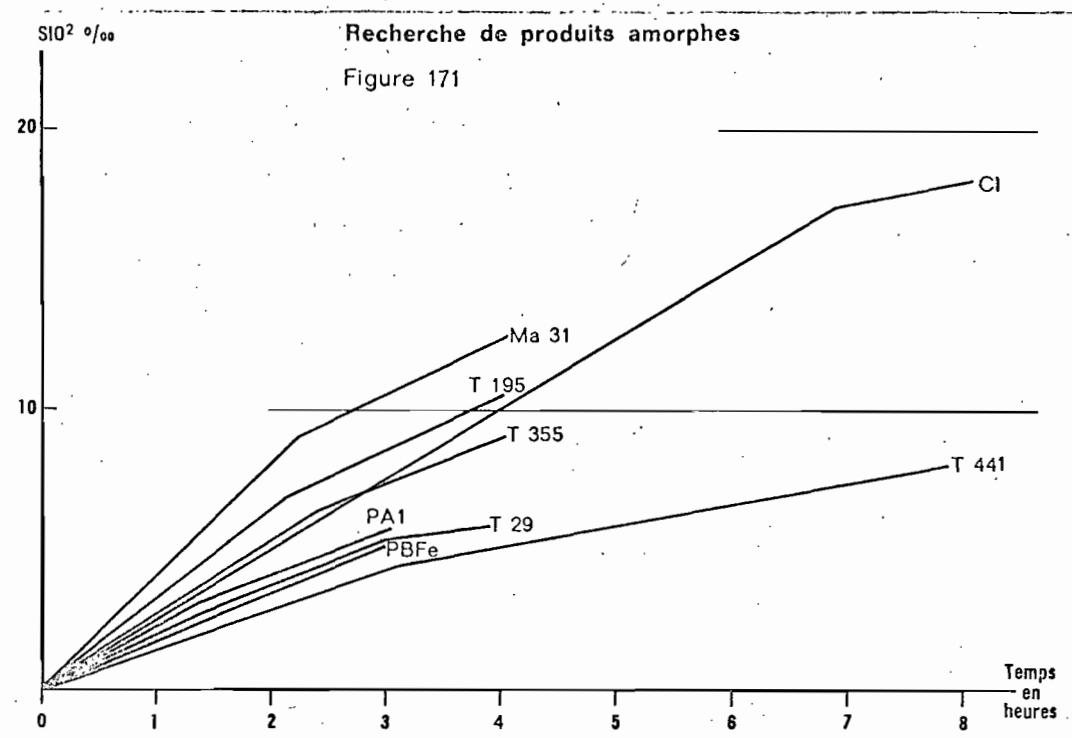


Figure 170

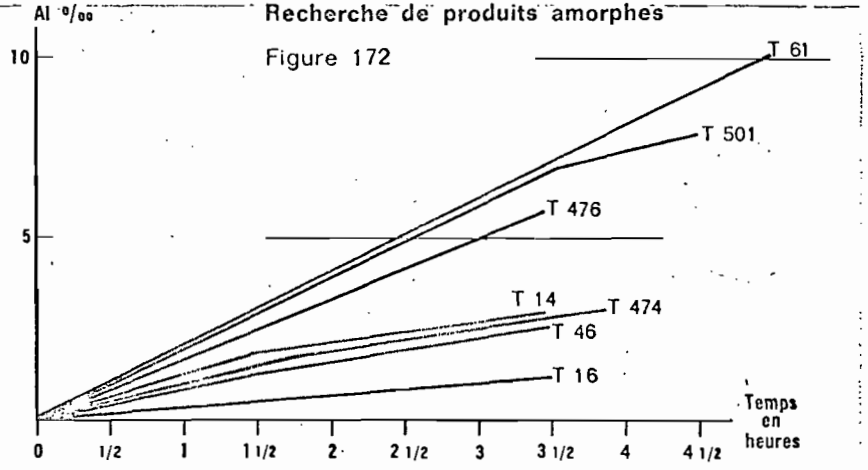
Recherche de produits amorphes

Figure 171



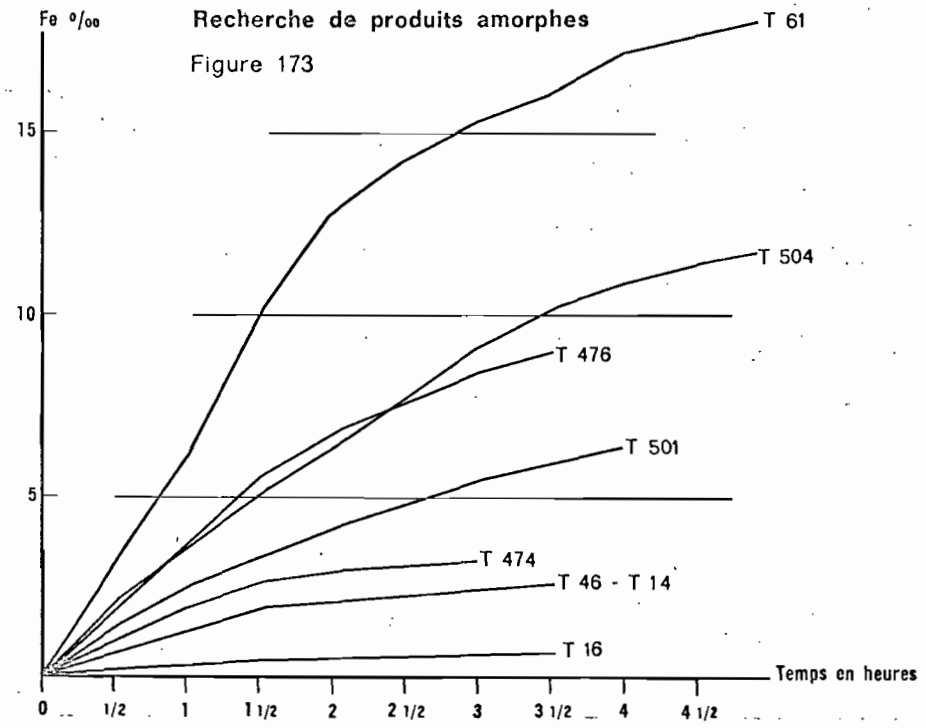
Recherche de produits amorphes

Figure 172



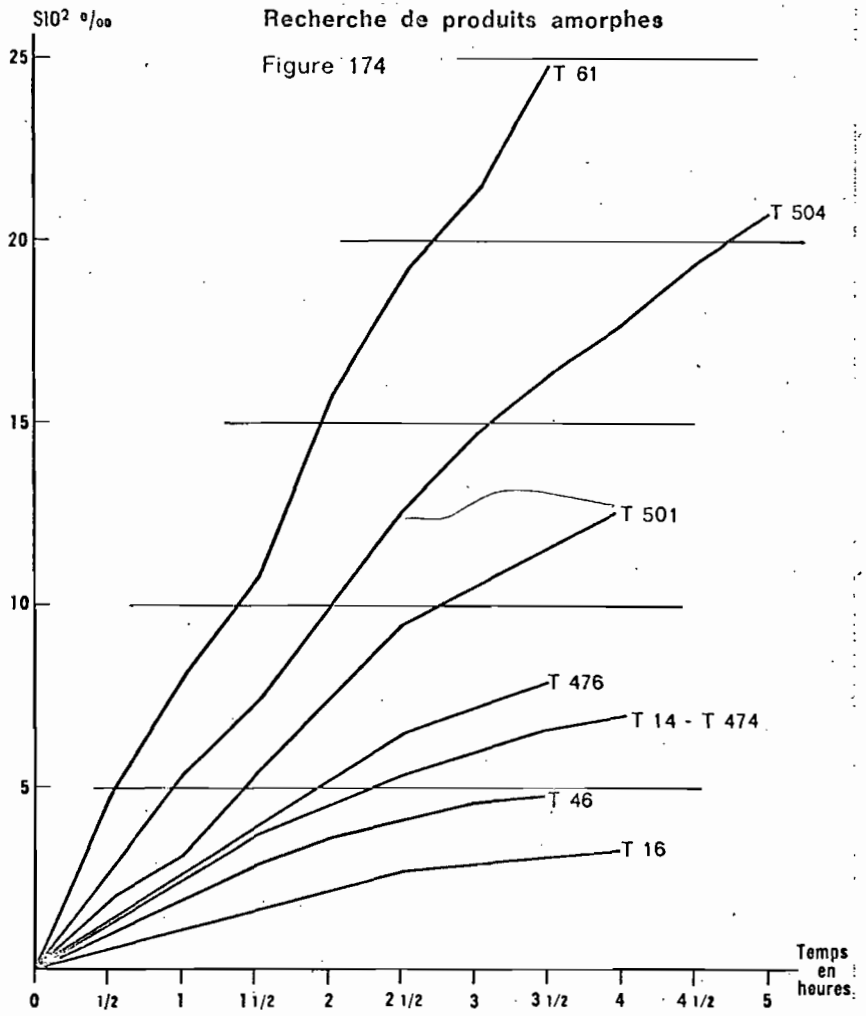
Recherche de produits amorphes

Figure 173



Recherche de produits amorphes

Figure 174



1.3.3. Produits organiques solubles. Dégradation des minéraux argileux. Produits amorphes (fer, silice, alumine) (1)

Les produits organiques solubles (polysaccharides, composés uroniques, acides aminés, composés tanniques peu polymérisés) migrent facilement dans le sol avec l'eau des précipitations (FORSYTH 1947) entraînant avec eux des hydroxydes.

Cette migration des acides fulviques et leur complexation avec le fer et l'alumine ont été étudiés par de nombreux auteurs. Leur pH serait de 2,6 à 2,8 et leur acidité égale à celle des acides sulfurique et chlorhydrique 0,005 N (PONOMAVERA 1947). Pour KONONOVA (1951), la pédogenèse d'un sol a des rapports étroits avec l'accumulation des substances organiques solubles qui ont pour résultat la décomposition des silicates. Ceux-ci se transforment en acide silicique et en sels de produits organiques qui migrent et s'accumulent en profondeur. KONONOVA et al (1964), par traitement de différents silicates (kaolinite, plagioclase, néphéline ...) par des acides humiques et fulviques de chernozem et de podzol obtiennent le déplacement d'une partie du fer et de l'alumine de ces minéraux. ADACHI (1964) étudie de même le rôle des acides fulviques dans le sol et la migration du fer et de l'alumine en présence de ceux-ci. Après une première série d'expériences (2), il arrive aux conclusions suivantes :

- il y a solubilisation de Fe et Al par les acides fulviques et celle-ci est d'autant plus importante que la quantité d'acide est grande;
- la précipitation de sels ou complexes de fer et d'alumine formés est maximum à pH 5-6 pour des rapports $\frac{Al}{AF}$ et $\frac{Fe}{AF}$ (3) respectivement compris entre 20 et 22 et 13 et 27. Le fer et l'alumine ont des réactions différentes vis-à-vis de l'acide fulvique; le fer se dissout moins facilement que l'alumine en raison de sa zone étendue de précipitations.

---

(1) Méthode P. SEGALEN

(2) Mise en contact dans différentes conditions de pH et de concentration d'acide fulvique, de fer, d'alumine

(3) $\frac{Al}{AF}$ $\frac{\text{Aluminium}}{\text{Acide fulvique}}$; $\frac{Fe}{AF}$ $\frac{\text{fer}}{\text{Acide fulvique}}$

Dans un second type d'expériences ce même auteur lessive 2 sols du Japon(1) avec une solution d'acide fulvique et arrive aux constatations et conclusions suivantes après le passage de 5 l de solution en 10 mois :

- il y a blanchiment plus ou moins net sous la couche humique superficielle formée;
- il y a départ de fer et d'alumine et aussi d'acide silicique et accumulation en profondeur de ces produits qui précipitent.

Ces phénomènes de migration du fer et de l'alumine sont analogues à ceux connus dans la podzolisation où la matière organique est particulièrement riche en produits solubles. Dans ce type de pedogenèse, ces produits sont responsables de la dégradation de la fraction numérale du complexe absorbant en libérant de l'alumine et de la silice qui migrent. Ils entraînent également le fer qui précipite avec les acides humiques bruns en B_h et les acides fulviques en B_{Fe} (DUCHAUFOUR 1964 a) (2).

La recherche de produits amorphes dans les sols ferrallitiques a été effectuée sur :

- un sol de Côte d'Ivoire déjà cité (kaolinite dominante - gibbsite - goethite faible);
- différents sols du Tchad :
  - . un à gibbsite dominante (T 441)
  - . les autres à kaolinite dominante, parfois avec illite faible et goethite en quantité moindre.

Les courbes obtenues montrent successivement (figures 169-170-171) :

- une partie assez redressée qui représente le départ de produit amorphe proprement dit (SiO^2 - Al - Fe) ou de gibbsite et parfois d'hématite;
- une partie à pente faible qui correspond à une altération de la fraction argileuse.

Les échantillons du Tchad présentent très peu d'alumine amorphe, rarement de la gibbsite (en général moins de 1‰, soit 5 à 6% au maximum de l'alumine totale, ceci à l'exception d'échantillons de profondeur (T 29 : $\frac{\text{Al amorphe}}{\text{Al totale}} = 12\%$) et de celui prélevé à la surface bauxitique de Koro où la courbe de départ d'Al est très redressée et ne présente pas de point

(1) Un sol de cendres volcaniques riche en allophane, un sol rouge pauvre en produits amorphes à halloysite dominante.

(2) Lors de la recherche de produits amorphes par la méthode SEGALEN dans des podzols et sols podzoliques prélevés dans les Vosges, nous avons constaté de même une accumulation d'alumine amorphe maximum dans des horizons B_{Fe} (4,5‰ - 7,5‰), moindre en B_h (1,5‰ - 5‰) très faible en A_2 (0,5‰). Le fer présente aussi des accumulations importantes et variables (B_{Fe} 2‰ - 12‰ — B_h 4‰ - 13‰).

Origine	Produits amorphes Al%	SiO_2%	Fe%	Fe lib.%	Fe tot.%	Al tot.%	SiO_2 tot.%	Al a / Al T	SiO_2a / SiO_2T	Fe a / Fe T	Fe l / Fe T
Côte d'Ivoire CI (20-50 cm)	1,85	1,20	1,40	3,1	4,02	6,08	12,43	30,4	9,7	34,8	73,8
Tchad											
T 441 (200 cm)	-	0,26	2,2	-	3,99	29,46	3,41	-	7,6	55,1	-
T 29 (480-500cm)	1,05	0,4		3,03	3,71	8,76	14,98	12	2,7	-	81,7
T 191 (0-20 cm)	0,07	0,25	0,4	0,75	1,22	1,14	3,8	6,1	6,6	32,8	61,5
T 193 (60-80 cm)	0,06	0,25	0,8	1,47	1,78	2,96	7,8	2,1	3,2	44,9	82,6
T 195(220-240cm)	0,06	0,3	1,2	2,23	2,83	5,48	13,0	1,1	2,3	42,4	78,8
T 351 (0-20 cm)	<0,05	0,1	0,2	0,43	0,70	0,40	1,15	-	8,7	28,6	61,4
T 353 (90-110cm)	0,1	-	0,4	0,73	0,89	1,51	4,25	6,6	-	44,9	82,0
T 355(215-235cm)	0,1	0,3	0,45	0,76	1,01	1,56	4,35	6,4	6,9	44,6	75,2
Ma 31 (0-10 cm)	<0,05	0,3	0,3	0,64	1,08	1,35	3,35	-	9	27,8	59,2
Ma 33(90-110 cm)	0,1	0,5	0,95	1,55	2,10	4,02	9,45	2,5	5,3	45,2	73,8
Ma 35(320-330cm)	0,1	0,5	1,05	1,58	2,06	4,31	10,10	2,3	4,9	51,0	76,7
France											
Podzol											
A_1 (5-12 cm)	0,05	0,12	0,18	0,32	0,32	0,44	2,67	11,4	4,5	56,2	100
A2 (12-35 cm)	0,05	0,12	0,07	0,31	0,32	0,40	2,36	12,5	5,1	21,9	96,9
B_h (35-53 cm)	0,48	0,15	1,30	2,80	3,00	1,85	5,44	25,9	2,8	43,3	93,3
B_{fe} (67-85 cm)	0,75	0,05	0,22	0,92	1,12	1,73	3,80	43,4	1,0	19,6	82,1
C (85-95 cm)	0,18	0,12	0,05	0,86	1,16	1,67	3,94	10,8	3,0	4,3	69,4

a amorphe
T total
l libre

d'inflexion après 8 h de traitement.

L'échantillon de Côte d'Ivoire a son point d'inflexion après 7 h de traitement; la gibbsite a alors disparu ainsi que l'indique l'observation aux rayons X. L'alumine de ce minéral représente 30,4% de Al total (1).

Le fer des sols ferrallitiques est intimement lié à la fraction colloïdale inférieure à 2 μ qui en contient de 10 à 11%. Ceci représente le taux maximun de saturation à la surface des argiles (D'HOORE 1954) avant que

(1) Ce chiffre est à rapprocher de ceux des horizons B_h et B_{Fe} d'un podzol des Vosges précédemment cité où le rapport $\frac{\text{Al amorphe}}{\text{Al total}}$ atteint respectivement 25,9 et 43,4 %

ne se produisent des phénomènes de concrétionnement.

L'analyse aux rayons X révèle une importante fraction de goethite et également d'hématite, sans indiquer la présence de produits amorphes. Ceux-ci sont assez abondants dans les échantillons analysés. Il est parfois difficile de dissocier produits amorphes et cristallisés. Les courbes ne montrent pas alors de départ brutal au début du traitement mais une sortie progressive qui s'atténue après 3 à 4 h, alors que le fer a disparu en presque totalité. L'examen aux rayons X, après un traitement de 1 à 2 h montre que les raies de l'hématite et de la goethite sont conservées ou légèrement atténuées en même temps que la coloration rouge a diminué.

La comparaison des rapports $\frac{\text{Fe libre}}{\text{Fe total}}$ et $\frac{\text{Fe amorphe}}{\text{Fe total}}$ indique que les seconds sont toujours moins élevés et relativement constants : 28 à 33% en surface, 42 à 50% en profondeur.

La silice amorphe est en faible quantité et représente moins de 10% de la silice totale dans le sol de Côte d'Ivoire. Dans les sols du Tchad, les rapports $\frac{SiO_2 \text{amorphe}}{SiO_2 \text{Totale}}$ sont également bas.

D'une façon générale, le départ des produits amorphes se traduit à l'analyse aux rayons X par le renforcement des pics de kaolinite et surtout d'illite.

Ces différents résultats semblent montrer qu'il existe une certaine analogie dans les mécanismes pédogénétiques qui se développent dans les horizons supérieurs des sols ferrallitiques et des podzols, mécanismes en liaison avec de très fortes quantités de produits organiques solubles. Les sols ferrallitiques présentent en effet fréquemment des horizons supérieurs A_1A_2 relativement sableux dont la teneur en argile augmente progressivement jusqu'à l'horizon B. L'horizon A_2 est parfois légèrement blanchi. Le blanchiment n'est visible au Tchad que dans les sols les plus sableux, les plus pauvres en même temps en fer. Comme dans les podzols, l'appauvrissement en argile des horizons supérieurs parait être le fait des produits organiques solubles qui provoquent une dégradation de la fraction argileuse avec libération de silice, de fer et d'alumine qui migrent en profondeur où ils précipitent, ou bien sont éliminés latéralement. Les phénomènes de migration oblique de ces produits ou des substances humiques sont possibles dans un certain type de paysages, elles sont sans doute à l'origine, en allant s'accumuler dans les zones basses ou les parties mal drainées, des podzols de nappe des régions équatoriales.

Le rôle des substances humiques solubles se limite-t-il uniquement à une désagrégation partielle de l'argile des horizons superficiels ou bien intervient-il plus profondément dans le processus de ferrallitisation en étant l'agent agressif responsable de l'altération complète des minéraux primaires? C'est une hypothèse qui mérite d'être envisagée tout en resoulignant l'importance du temps dans cette pédogenèse (1).

(1) G.AUBERT-M.LENEUF (1960) estiment que 20000 à 77000 années sont nécessaires pour assurer la ferrallitisation complète d'un granite calco-alcalin sur 1 m d'épaisseur, dans les conditions les plus humides de Côte d'Ivoire, de 53000 à 192000 années dans la zone forestière centrale la moins humide.

Une autre manière d'expliquer la texture sableuse des horizons superficiels, si l'on ne veut pas admettre la destruction d'une partie de la fraction argileuse, consiste à tenter de prouver le lessivage de celle-ci. Un lessivage vertical laisserait apparaître un ventre d'accumulation sur le diagramme de répartition des pourcentages d'argile en fonction de la profondeur, ce qui n'est pas le cas. Nous savons d'autre part que pour des pourcentages élevés de kaolinite voisins de 40% (HALLSWORTH 1965) le lessivage de l'argile est faible à nul. Ceci est confirmé par l'observation sur lame mince d'agrégats d'horizons profonds sur lesquels aucune pellicule d'argile secondaire n'est décelée. De ce fait, un lessivage oblique de l'argile semble alors le plus vraisemblable.

CONCLUSIONS

Il existe dans le sud de la cuvette tchadienne des paléosols de type ferrallitique qui dénoncent des conditions pluviales anciennes très importantes. La surface bauxitique résiduelle de Koro est l'exemple le plus ancien, tandis que les buttes témoins observées sur le pourtour du massif central tchadien, bien que plus récentes, sont non actuelles.

Les sols rouges ferrallitiques de la partie méridionale du Tchad, les plus jeunes, et qui ont subi sans doute à la faveur des pluviaux du Quaternaire des rajeunissements successifs, consécutifs à des phénomènes d'érosion, apparaissent de même comme non actuels. Leur type de matière organique notamment, est très différent de celui observé à des latitudes plus méridionales sous de plus fortes précipitations, où les produits organiques solubles (acide fulvique, acide humique brun) dominent dès la surface, alors que les sols ferrallitiques du Tchad ont un type d'humus identique à celui des sols ferrugineux tropicaux, malgré une morphologie de profil totalement différente.

La surface ferrallitique dans les endroits où elle est en voie de démantèlement, donne d'autre part naissance à partir des produits d'érosion, à des sols ferrugineux tropicaux lessivés.

Au Tchad, le processus de ferrallitisation apparaît comme une ancienne pédogenèse masquant la pédogenèse actuelle, ceci grâce à des caractères hérités particulièrement forts et difficilement reversibles (grande épaisseur des profils, fraction argileuse à kaolinite, fer lié aux surfaces de l'argile conférant au sol sa couleur et jouant un rôle protecteur dans le cas d'éventuelles dégradations de cette dernière ....). Les caractères hérités sont peut-être encore les mieux conservés dans les horizons profonds du sol où se note plus abondamment parfois la présence d'alumine amorphe ou de gibbsite.

2. LA FERRUGINISATION

La destruction complète d'un minéral amène la libération de chacun des éléments constitutifs de celui-ci. Nous avons vu dans la ferrallitisation que les produits finaux sont de la gibbsite auxquels s'ajoutent de la goethite, de l'hématite, tandis que migrent les bases et la silice. Cette dernière est susceptible de se recombiner avec l'alumine pour donner de la kaolinite.

Cette altération de la roche et du sédiment sous l'influence des agents climatiques n'est pas toujours aussi intense et une partie des minéraux primaires peut rester inaltérée (feldspath potassique, calco-sodique..). La ferruginisation est cette altération moindre où le stade kaolinique n'est jamais dépassé et où la fraction argileuse est composée de ce premier produit pouvant s'associer à de l'illite, de la montmorillonite et des hydroxydes de fer, sans jamais d'alumine libre. C'est en ce premier sens qu'il faut entendre le terme de ferruginisation qui évoque principalement une individualisation du fer des roches ou des sédiments. Individualisation qui sera suivie de la migration de cet élément et de son transport soit verticalement dans le sol, soit latéralement dans le paysage (1).

2.1. LA MIGRATION DU FER - SON IMMOBILISATION. LES LIAISONS FER-ARGILE, FER-ARGILE - MATIERE ORGANIQUE.

2.1.1. La migration du fer

Elle ne peut s'effectuer que sous forme réduite, puisque les ions ferriques sont peu mobiles aux pH existant dans les sols. Cette migration sera donc commandée par le potentiel d'oxydo-réduction du sol. La réduction du fer est provoquée par les microorganismes en milieu anaérobie.

Les produits de décomposition de la matière organique forment des complexes avec le fer et migrent dans le sol (HENIN, BETREMIEUX, 1948-1950).

---

(1) Cette individualisation du fer se produit dans un grand nombre de sols autres que les sols ferrugineux tropicaux, sols ferrallitiques que nous venons de voir, sols rouges méditerranéens ...

Ces complexes du fer avec la matière organique ont été étudiés par divers auteurs (JONES et WILCOX, BREMMER, BECKWITH, BLOOMFIELD, BETREMIEUX, SCHNITZER, KAWAGUCHI, MATSUO, ...) et ont reçu le nom de chélates. La migration du fer "per descensum" a été le plus souvent évoqué, tandis que celle "per ascensum" a été mise en évidence en laboratoire par DEMOLON et BASTISSE (1944) par l'utilisation de ferrisilicate susceptible de traverser un milieu calcaire. Ce produit se décomposait en surface avec précipitation du fer. Ce processus a été évoqué par différents auteurs pour expliquer la formation des sols rouges méditerranéens (REIFENBERG 1935). BURGES et BEADLE (1953) ont fait de même remonter dans des tubes à essai, dont la partie supérieure était chauffée, du fer ferreux préalablement complexé, par fermentation, à des substances organiques. Ces auteurs voient dans ce mécanisme celui se produisant dans les sols tropicaux.

La migration du fer dans le sol par entraînement latéral a été aussi évoquée par JACKSON et SHERMAN (1953), D'HOORE (1954), MAIGNIEN (1958) pour les sols tropicaux.

Des expériences récentes (MUIR J.W., LOGAN J., BOWN C.J., 1964) ont montré que les acides organiques (acides α hydroxy-carboxyliques) maintiennent le fer en solution entre pH 4 et 9,5 avec un maximum à 8 et donnent des complexes hydro-solubles qui ne sont pas influencés par l'ion Ca dans une zone large de pH, et des sols d'hydroxydes (1) influencés par le pH et Ca. Ceci conduit à envisager que si Ca est faible, le fer peut migrer à l'état de sol et inversement à l'état de complexe si cet ion est en forte quantité.

Nous avons dit aussi précédemment le rôle attribué par ADACHI (1964) aux acides fulviques et leur importance dans la migration de l'alumine et du fer.

Dans les eaux courantes, le fer serait transporté sous forme de complexe avec la matière organique après être passé successivement de la forme carbonate ferreux au sortir des minéraux primaires à celle de $Fe(OH)_3$ (MOORE et MAYMARD, 1919).

2.1.2. L'immobilisation du fer

Elle a lieu dès que changent les conditions du milieu, le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, par oxydation biologique qui détruira la substance organique du complexe en libérant le fer qui précipitera.

2.1.3. Les formes de liaison fer-argile, fer-argile-matière organique

- Liaison fer-argile

Pour D'HOORE, FRIPIAT, GASTUCHE, COUVREUR (1952-53-54), les hydroxydes qui recouvrent la surface des argiles forment :

(1) Ces sols avait été définis précédemment par LOSSAINT (1959)

- des agrégats ordonnés (le pourcentage de Fe_2O_3 maximum fixé sur la surface sera de 12%; au-delà, il y aura apparition de concrétionnement);
- des agrégats désordonnés sans limitation et saturation de surfaces.

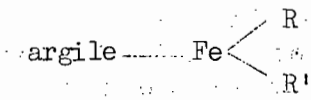
Les pseudo-hexagones qui constituent la surface des argiles sont, soit empilés les uns sur les autres avec Fe entre les feuillets (structure ordonnée), soit reliés entre eux par des ponts de Fe (structure désordonnée).

Ces structures désordonnées sont très mal connues. CLOOS et FRIPIAT (1958) ont admis à la fois la possibilité de ponts et de liaisons chimiques. Cette dernière position est celle également de KELLERMAN et TSYURUPA (1962).

- Liaison fer - matière organique - argile

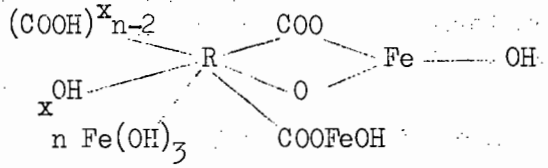
Ce type de liaisons se ferait sous deux formes suivant les auteurs :

- par l'intermédiaire de ponts métalliques Fe-Ca-Mg-Mn de type :



R - R' étant des anions de composés organiques complexes. C'est la position de D'HOORE (1949), BEUTELSPACHER (1955), SEN (1961) ...

- par l'intermédiaire de ponts hydrogènes et forces de VAN DER VAALS, ALEXANDROVA et NAD (1958), tandis que la liaison matières humiques-fer se présenterait ainsi :



x H échangeable
--- liaison intermédiaire

Il y aurait ici adsorption des humates sur la surface des argiles, tandis que le fer entrerait en complexation dans les positions d'échange.

2.2. LA FERRUGINISATION DANS LA CUVETTE TCHADIENNE

Les sols ferrugineux sont observés entre les isohyètes 1300 et 500 mm et sont subdivisés en fonction de l'intensité du lessivage en argile et en fer en :

- sols lessivés (1300 à 800 mm)
- sols peu ou non lessivés (800 à 500 mm)

Ils sont souvent de couleur claire, gris-beige en surface, beige ou beige-rosé en profondeur avec des taches diversement colorées (rouille, ocre, rouge) ou non.

Sous de telles pluviométries, des rubéfactions d'ensemble comme celles que l'on voit dans les sols ferrallitiques, ne sont généralement plus visibles sauf dans des cas particuliers de sols formés sur roches riches en fer (roche verte, micaschistes) et en milieu très bien drainé (sol de forte pente, ravine d'érosion au contact d'un relief).

Des sols très faiblement mais uniformément brun-rouge pâle, ocre sur des épaisseurs diminuant progressivement du Sud vers le Nord, s'observent cependant jusqu'à des latitudes très septentrionales (16è parallèle, ouest de Largeau,...) où les conditions climatiques actuelles ne sont plus susceptibles de favoriser de tels phénomènes d'individualisation et de migration du fer, puisque la pluviométrie s'amenuise très rapidement (500 mm au 12è parallèle, à moins de 100 mm à Largeau) en même temps qu'augmentent la température, l'évaporation et que diminue le drainage calculé qui passe de 50 mm à moins de 1 mm. De tels sols vont donc apparaître comme des sols fossiles ayant conservé des caractères hérités. Dans tous les cas, il s'agira de sols très sableux à très bon drainage interne.

2.2.1. La matière organique.

Sa composition

Y.DOMMERGUES (1962) estime à 5 t/ha la matière organique sèche retournant au sol annuellement en climat tropical humide contre 10 à 15 t/ha en milieu équatorial.

Malgré ceci, les quantités de matière organique sont faibles dans ces sols, le plus souvent inférieures à 1% en surface, beaucoup plus faibles en profondeur. La matière humique totale est constituée dans les horizons de surface par une dominance marquée des acides humiques (50 à 80%), tandis que les acides fulviques sont très abondants en profondeur, notamment dans les sols beiges ferrugineux lessivés (61 à 92%), dans les sols ocre ferrugineux peu lessivés et dans l'horizon brun-rouge des sols steppiques (53 à 68%).

Dans les sols beiges peu lessivés très perméables, les acides fulviques sont en quantité moindre dans ces mêmes horizons (35 à 37%).

On voit donc qu'il y a prédominance dans la plupart des cas de substances organiques solubles en profondeur. Il semble y avoir une corrélation étroite, peut-être en rapport avec les formes de liaison argile-matière organique-fer évoquées précédemment, entre :

- la coloration uniforme plus ou moins accusée et la teneur en acides fulviques (sol ocre ferrugineux, sol brun-rouge steppique);
- la coloration et les conditions de drainage. Dès que celui-ci devient défectueux, les acides fulviques continuent à dominer, mais les horizons affectés se marmorisent progressivement (sols beiges ferrugineux

lessivés à hydromorphie plus ou moins accusée,...).

2.2.2. Le fer. Son accumulation

Dans les sols ferrugineux tropicaux, les hydroxydes cristallisés se présentent souvent sous forme de concrétions de goethite et d'hématite ou en fines pellicules ou traînées de couleurs très diverses, enrobant agrégats ou quartz. Il n'y a guère que dans les sols peu lessivés très sableux que la répartition du fer paraît uniforme, mais très diffuse car les teneurs en fer total sont faibles, moins de 1% dans les sols beiges, ocres ou brun-rouge. Dans les horizons profonds les plus argileux, des sols ferrugineux lessivés de plus forte concentration sont observés (2 à 4%), notamment dans le cas de nappe à fluctuations saisonnières (profils T 42, 5% à 520 cm; T 34, 7% à 480 cm; T 46, 12% à 120 cm). Des accumulations plus importantes seront notées dans des horizons profonds de sols à concrétions ou cuirasse (20 à 45%).

2.2.3. Processus de ferruginisation en climats tropical semi-humide et tropical sec

Les sols soumis aux processus de ferruginisation subissent des climats à deux saisons bien tranchées, et sont caractérisés par des pH acides et un complexe absorbant peu saturé.

- Pendant la saison des pluies, la matière organique qui se dépose suivra diverses évolutions en fonction du drainage externe et interne du sol:

  . en milieu bien drainé, la décomposition est rapide et continue. Les produits organiques solubles migrent en profondeur, entraînant le fer en complexes qui sont rapidement détruits ou insolubilisés, amenant la précipitation du fer, soit en liaison avec les surfaces des argiles, soit sous forme d'oxydes libres;

  . en milieu mal drainé, anaérobie, la décomposition de la matière organique rapide en début de saison des pluies, est très diminuée ensuite avec alors formation de produits solubles complexant encore le fer. Il y a accumulation de matière organique en surface et des complexes hydro-solubles au niveau des horizons d'engorgement.

- Pendant la saison sèche :

  . en milieu bien drainé, la minéralisation de la matière organique se poursuivra. Des phénomènes de polymérisation (formation d'acide humique gris) pourront se produire en profondeur en fonction du degré de saturation, du pH, du type de végétation.

Origine	Pluvio-métrie	MHT ‰	AHG %	AHI %	AHB %	AF %
Sol ferrugineux tropical ocre peu lessivé						
Bok 211 (0-20 cm)	700 mm	0,54	51,1	11,9	16,6	20,4
213 (80-100 cm)		0,24	15,5	4,7	13,1	66,7
Sol brun-rouge steppique						
Bo 311 (0-20 cm)	500 mm	0,35	29,7	9,5	15,6	45,2
313 (80-100 cm)		0,21	29,1	5,6	12,5	52,8
A 591 (0-20 cm)	400 mm	0,29	30,9	6,7	22,7	39,7
T 11 (0-25 cm)	350 mm	0,24	56,6	6,8	15,8	20,8
13 (60-80 cm)		0,20	46,9	8,8	9,3	35,0
14 (100-120 cm)		0,14	28,3	2,2	5,2	64,3
Sols ferrugineux tropicaux beiges lessivés à taches et concrétions à hydromorphie de profondeur						
T 201 (0-20 cm)	1250 mm	1,54	57,2	11,8	14,1	16,9
203 (80-100 cm)		0,54	15,9	8,4	14,6	61,1
T 41 (0-20 cm)	1000 mm	1,18	41,0	16,6	20,4	22,0
43 (70-90 cm)		0,44	17,4	7,3	13,9	61,4
T 341 (0-25 cm)	1000 mm	1,48	25,1	8,6	12,3	54,0
343 (80-100 cm)		0,49	4,1	1,4	2,7	91,8
Sols ferrugineux tropicaux beiges peu lessivés à taches rares ou absentes						
T 31' (0-20 cm)	1000 mm	1,42	45,8	14,8	16,2	23,2
33' (90-110 cm)		0,20	50,8	6,9	7,3	35,0
T 471 (0-20 cm)	900 mm	0,65	42,7	10,8	18,8	27,7
473 (60-80 cm)		0,54	48,5	6,9	7,6	37,0

. en milieu mal drainé, la minéralisation redémarrera en même temps que se développeront les conditions aérobies. Les acides organiques solubles demeurés en complexe avec le fer pendant toute la saison des pluies seront détruits ou insolubilisés, tandis que le fer précipitera.

En pleine saison sèche, dans les deux cas, en liaison avec le pF, l'activité microbienne du sol se ralentira fortement (Y.DOMMERGUES 1962) pour ne reprendre qu'avec l'apparition des premières pluies.

Dans le premier cas (milieu bien drainé), il y aura déplacement continu mais faible du fer "per descensum" en saison des pluies. Les profils seront plus ou moins profonds en fonction de la pluviométrie, de l'indice de drainage et de la production de substances organiques solubles liée au type

de végétation (sols ocre et beiges ferrugineux peu lessivés, horizon brun-rouge des sols steppiques). Des remontées "per ascensum" pourront se produire dans les parties les plus septentrionales pendant certaines périodes limitant ainsi la profondeur des profils.

Dans le second cas (milieu mal drainé), l'accumulation du fer se fera à un certain niveau où se développeront taches, concrétions ou cuirasse (sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux ou à pseudo-gley, sols hydromorphes à taches, concrétions et cuirasse, ...) ou bien le fer migrera latéralement à l'état de complexe ou sous forme réduite à la faveur de lessivage oblique.

Ici apparaît déjà la difficulté qu'il y a de séparer sols ferrugineux et certains sols hydromorphes.

2.2.4. Le lessivage de l'argile

A l'exemple des sols ferrallitiques, certains sols ferrugineux tropicaux, les plus septentrionaux et aussi les plus argileux (30 à 50% d'argile en profondeur) ont des taux d'argile qui augmentent progressivement avec la profondeur, puis deviennent constants. En l'absence de ventre d'accumulation, le lessivage de l'argile semble difficile à admettre. Ces sols sont constitués, soit de kaolinite dominante, soit d'un mélange de kaolinite et montmorillonite associé à de l'illite. HALLSWORTH (1965) a montré en laboratoire que pour un certain pourcentage d'argile (20% de montmorillonite, 40% de kaolinite) aucun lessivage vertical d'argile n'était possible et qu'en dessous de ces taux, celui-ci était relativement faible (indice de lessivage alors de 1,1 à 1,3). Le lessivage oblique de l'argile, comme celui du fer apparaît alors plus vraisemblable. Une autre hypothèse que nous serions tenté d'admettre est une destruction lente et continue des argiles en milieu anaérobie et mal drainé où vont venir s'accumuler des produits organiques solubles en saison des pluies.

A l'inverse dans les sols sableux (0 à 20% d'argile en profondeur), le "ventre" d'accumulation apparaît très fréquemment. Il est accompagné par l'observation dans le profil de fines raies plus argileuses. L'indice de lessivage est alors plus bas, compris entre 1 et 2, et plus rarement entre 2 et 3 (sols beiges ferrugineux peu lessivés, sols brun-rouge steppiques).

Si dans le premier cas l'on peut parler d'horizon supérieur appauvri en argile, dans le second, le terme de lessivage conserve toute sa valeur.

2.2.5. Les produits amorphes

(Figures 172 - 173 - 174. Tableau ci-après)

La recherche de produits amorphes indique que des quantités assez faibles sont retirées après des traitement répétés.

SiO_2 0,15 à 0,35 % représentant de 4 à 12% de la silice totale
Al < à 0,1% (0,02 à 0,09 %) soit de 7 à 20 % de l'Al total
Fe 0,01 à 0,35 %.

Les rapports $\frac{\text{Fe amorphe}}{\text{Fe total}}$ sont très variables et souvent sans liaison avec ceux de $\frac{\text{Fe libre}}{\text{Fe total}}$. Ceci tient surtout à l'état de cristallisation des hydroxydes. Les traces de goethite ou d'hématite disparaissent généralement après traitement de 3-4 h tandis que la coloration s'éclaircit par départ des matières humiques après traitement à la soude, ceci pour les horizons de surface, et également par départ du fer.

La fraction argileuse des échantillons traités était constituée principalement de kaolinite et de quantité moindre d'illite. Après traitement et nouvel examen aux rayons X, les pics de ces différentes argiles apparaissent de façon identique ou sont même parfois renforcés dans le cas d'illite.

Les départs relativement faibles de silice et d'alumine indiquent un matériau bien cristallisé. La comparaison dans les profils des rapports $\frac{SiO_2 \text{ amorphe}}{SiO_2 \text{ totale}}$ et $\frac{\text{Al amorphe}}{\text{Al totale}}$ montre une légère accumulation de SiO_2 et Al amorphes :

- en surface, dans le profil T 4 (sol ferrugineux tropical lessivé, sans ventre d'accumulation à niveau profond d'engorgement);
- en profondeur, dans les profils T 47 et T 1 (sol ferrugineux tropical non lessivé et brun-rouge steppique à léger ventre d'accumulation).

Nous verrons plus loin que les échantillons contenant de la montmorillonite présentent des départs de SiO_2, Al, Fe plus importants correspondant à la destruction de cette argile.

CONCLUSIONS

Les phénomènes de ferruginisation apparaissent liés principalement aux conditions climatiques très différentes de celles qui conduisaient à la ferrallitisation et notamment l'intensité des précipitations, moindre dans la zone tropicale sèche. Ils sont liés aussi à la nature des substances organiques solubles qui percolent avec l'eau des précipitations au travers du sol. Celles-ci en complexe avec le fer sont en partie responsables de sa migration vers la profondeur où elles sont détruites par voie biologique, insolubilisées lors de l'assèchement du profil, parfois polymérisées en milieu bien drainé et aérobie, tandis que le fer précipite (sols ferrugineux ocre et beiges peu lessivés - horizons brun-rouge des sols steppiques). Dans ces sols généralement très sableux s'observe un léger lessivage de l'argile avec ventre d'accumulation.

En milieu anaérobie, mal drainé, les substances organiques solubles et le fer complexé s'accumulent au contact de niveau d'engorgement qu'elles

enrichissent en fer en même temps qu'elles sont peut-être responsables d'une destruction partielle et progressive de la fraction argileuse (sol beige ferrugineux lessivé sans ventre d'accumulation à taches et concrétions ou cuirasse). Le fer pourra également migrer avec l'argile par lessivage oblique sous forme de complexe organique ou sous forme réduite pour aller s'accumuler en bas des pentes ou en rupture de pente où il donnera naissance à des cuirasses.

Des ferruginisations apparaissent héritées de climats passés. Ce sont celles qui affectent des formations sédimentaires anciennes. Ceci est particulièrement visible au nord du 13è parallèle où la pédogenèse se manifeste par une steppisation qui se superpose à la précédente pédogenèse. Les horizons profonds de ces sols présentent alors une dominance d'acides organiques solubles et une coloration brun-rouge (sol brun-rouge steppique).

3. HYDROMORPHIE

Elle est le résultat d'un excès d'eau dans le sol dû soit à un engorgement plus ou moins profond d'ensemble, soit à une inondation temporaire, semi-permanente à permanente.

3.1. CARACTERISATION

Les sols hydromorphes sont caractérisés par des horizons à pseudo-gley ou à gley.

Les horizons à pseudo-gley présentent des taches fortement colorées en fer (rouge - ocre - rouille ...) ou au contraire appauvries en cet élément (blanc - beige - beige jaunâtre ...). Ils subissent des phénomènes d'oxydation et de réduction annuels consécutifs à l'alternance des saisons. Il y a une redistribution du fer dans le profil sans migration ou alors celle-ci est très locale.

Les horizons à gley sont caractérisés par un engorgement prolongé où les phénomènes de réduction l'emportent sur l'oxydation. Le fer est réduit à l'état ferreux, s'accumule ou est éliminé. La coloration de ces horizons est grise, verdâtre ou bleutée.

Origine	Produits amorphes SiO_2 %	Fe%	Al%	Fe libre %	Fe total %	Al totale %	SiO_2 totale %	SiO_2a / SiO_2T %(1)	Al a% / Al T (2)	Coloration avant traitement	Coloration après traitement	Rayons X avant traitement	Rayons X après traitement
Sol ferrugineux tropical lessivé													
T 41 (0-20 cm)	0,15	0,15	0,05	0,18	0,31	0,33	2,15	7	15,1	10YR6,5/1	10 YR 7/1,5	Kaolinite	kaolinite
43 (70-90 cm)	0,15	0,12	0,03	0,23	0,45	0,41	3,45	4,3	7,3	10 YR 6/4	et sables colorés en	Illite	illite
44 (170-190 cm)	0,35	0,25	0,08	0,32	0,57	-	-	-	-	7,5 YR6/6	10 YR 7/5	traces de goethite	
46 (260-280 cm)	0,35	0,15	0,05	0,43	0,71	1,15	8,35	4,2	4,3	7,5 YR 7/0	10 YR 8/2	goethite	
Sol ferrugineux tropical peu lessivé													
T 471 (0-20 cm)	0,15	0,1	0,065	0,14	0,25	0,48	2,10	7,1	12,5	10YR5,5/3	10 YR 8/2	kaolinite	kaolinite
473 (60-80 cm)	0,25	0,25	0,08	0,20	0,35	0,74	3,50	7,1	10,8	10YR5,5/5	10 YR 8/2	illite	illite
474 (140-160 cm)	0,35	0,25	0,08	0,16	0,28	0,41	2,90	12,1	19,5	10YR5,5/5	10 YR 8/2	traces de	
476 (340-360 cm)	0,25	0,35	x	0,13	-	-	-	-	-	10YR7,5/6	10 YR 8/2	goethite	
Sol brun-rouge steppique													
T 11 (0-25 cm)	0,25	0,03	0,02	0,09	0,21	0,24	2,4	10,4	8,3	10 YR 5/1	10 YR 8/2	kaolinite	kaolinite
13 (60-80 cm)	0,2	0,08	0,04	-	-	-	-	-	-	5 YR 6/6	10YR 8/2	Illite	illite
14 (100-120 cm)	0,35	0,15	0,09	0,14	0,31	0,58	4,2	8,3	15,5	5YR5,5/6	10YR 8/1,5	traces d'interstratifiés	
16 (180-200 cm)	0,25	0,01	x	0,04	0,17	0,26	2,2	11,4	-	10 YR 8/1	10 YR 8/2	traces de goethite	

x courbes linéaires sans point d'inflexion

----- plus taches rouille et grise plus ou moins abondantes

(1) SiO_2 a : SiO_2 amorphe
SiO_2 T : SiO_2 totale

(2) Al a : Al amorphe
Al T : Al totale

3.2. CONDITIONS D'EVOLUTION EN FONCTION DE LA TEXTURE

Les phénomènes d'engorgement sont liés à la présence d'horizons de profondeur peu perméables; cette faible perméabilité peut être due à une grande richesse en argile, une mauvaise structure, la présence de Na échangeable qui rend l'argile facilement dispersable, la nature de l'argile (argiles gonflantes comme les montmorillonites). Ces engorgements sont naturellement moindres en sol sableux à sablo-argileux qu'argileux. L'inondation au contraire affecte n'importe quel sol sableux ou argileux.

Le sol perméable peut donc subir une action pédogénétique (lessivage, évolution de la matière organique) avant que ne se manifeste l'engorgement de ces horizons profonds ou l'inondation. Le sol argileux, au contraire, subit très rapidement un engorgement total qui limite son évolution, sauf dans des cas particuliers de bon drainage interne (bonne structure liée à une richesse en Ca ou en matière organique) ou externe (sol de pente se ressuyant bien).

On voit donc que des sols sableux à sablo-argileux hydromorphes relativement perméables vont pouvoir présenter une morphologie voisine de celle des sols ferrugineux tropicaux, puisque dans certains de ces derniers, la migration et l'accumulation du fer sont liées à des phénomènes d'oxydation et de réduction, conséquence d'une hydromorphie plus ou moins accusée.

3.3. LA MATIERE ORGANIQUE. SON PROCESSUS D'EVOLUTION

Le profil 3 du tableau ci-après est un de ces sols sableux perméable, inondé sous 60 à 80 cm d'eau en saison des pluies et couvert par une prairie graminéenne. De couleur gris-beige, puis beige en surface, on observe en profondeur (dès 30 cm) un horizon tacheté et des concrétions noirâtres. Sa matière organique est composée en surface d'un mélange assez égal d'acides humiques gris, d'acides humiques bruns et intermédiaires, d'acides fulviques. En profondeur, il y a dominance d'acides fulviques (82%) comme dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Ce sol va présenter en début de saison des pluies une activité biologique intense qui favorisera une humification superficielle, tandis qu'en profondeur seront entraînés et accumulés les acides organiques solubles, les complexes humo-ferrugineux, le fer réduit. Cette activité sera bloquée en période d'inondation où seuls se produiront en anaérobiose des composés organiques solubles. En saison sèche, il y aura une reprise de l'activité biologique et à nouveau humification superficielle, tandis qu'en profondeur, les produits organiques en complexe avec le fer seront insolubilisés par l'assèchement du profil ou détruits par voie biologique tandis que le fer précipitera.

Origine	Pluvio-métrie	MHT ‰	AHG %	AHI %	AHB %	AF %
NE de Kyabé						
T 31 (0-10 cm)	1000 mm	0,49	32,8	13,5	23,1	30,6
34 (80-100 cm)		0,17	7,2	2,4	8,1	82,3
Lac Iro						
T 101 (0-20 cm)	950 mm	3,96	34	19,7	23,1	23,2
103 (90-110 cm)		0,46	35,7	14,3	19,6	30,4
NE du Lac Iro						
T 91 (0-10 cm)	950 mm	5,12	50,6	10,8	13,2	25,4
94 (80-100 cm)		0,69	46,4	18,6	10,4	24,6
NE de Fort-Lamy						
Da 171 (0-15 cm)	500-550mm	0,69	38,8	13,0	22,1	26,1
173 (60-80 cm)		0,34	37,5	11,7	24,3	26,5

Les sols argileux, argilo-limoneux, argilo-sableux, limono-argileux peu perméables sont différents. Les phénomènes de ségrégation du fer ne sont visibles que dans ceux où la texture est la plus légère. Dans les autres, à l'inverse, un horizon uniformément foncé (brun, brun-noir, noir) s'observe au-dessus du niveau de gley.

Le profil T 9 du même tableau est celui d'un sol jeune de bourrelet exondé à pseudo-gley dès 10 cm, à texture sablo-limoneuse à argilo-limoneuse; le profil T 10 celui d'un sol argileux inondé par le lac Iro en période de hautes eaux. Ce dernier profil était couvert par de hautes graminées, de couleur brunâtre à marbrures rouille l'horizon de gley apparaissait à 80 cm. Le profil Da 17 argilo-sableux, a été pris dans une dépression temporairement inondée. Ces trois profils présentent une composition de la matière organique analogue. Il y a peu d'acides fulviques en surface et en profondeur (20 à 30%), les acides humiques bruns et intermédiaires sont assez bien représentés dans le profil 10 (34 à 43%), en quantité moindre dans le profil 9 (24 à 29%), les acides humiques gris dominent dans le profil 9 (46 à 51%), sont moindres dans le profil 10. La composition de la matière organique de ces deux profils est très voisine de celle des vertisols que nous décrirons en suivant.

3.4. LA MIGRATION DU FER

Elle est parfaitement visible dans les sols les plus sableux où le mouvement "per descensum" se caractérise : par un horizon A_2 de couleur

claire généralement beige sous l'horizon humifère; par un horizon très tacheté parfois à concrétions ferrugineuses correspondant au niveau d'engorgement. Cette migration du fer s'effectue ici encore par différents processus :

- par le passage du fer de la forme oxydée à la forme réduite;
- par l'intermédiaire de complexes humo-ferrugineux hydrosolubles.

Dans les sols hydromorphes riches en argile, peu perméables, l'engorgement se fait pratiquement dès la surface. On observe sous l'horizon humifère, soit un pseudo-gley, soit un gley. Le fer migre peu ou pas en profondeur. Sa redistribution est locale, liée à l'alternance des saisons. Dans les sols hydromorphes riches en montmorillonite, le fer entre fréquemment dans le réseau cristallin de l'argile. Il n'est alors peu ou pas observé de goethite ou d'hématite à l'examen aux rayons X.

CONCLUSIONS

Les sols sableux à sablo-argileux à horizon d'engorgement de faible profondeur ou inondés se présentent comme des sols ferrugineux tropicaux à taches et concrétions mais sont peu développés, tandis que les sols plus argileux à très mauvais drainage interne vont avoir une fraction humique importante responsable de leur coloration foncée en même temps que le fer entrera dans le réseau de la montmorillonite. La redistribution de cet élément en condition réductrice sera alors négligeable.

Les sols hydromorphes occupent le plus souvent des dépressions et sont de ce fait, formés sur des sédiments récents. Il s'agit de sols relativement jeunes. Il en existe également sur des séries plus âgées où l'hydromorphie apparaît due à la fluctuation de nappes anciennes.

4. V E R T I S O L I S A T I O N

Il s'agit d'une évolution particulière qui se produit dans un matériau peu perméable constitué par une forte proportion d'argiles gonflantes de type montmorillonite saturées en ions Ca et Mg. Le sol est gorgé en eau pendant la saison des pluies. Il subit une dessiccation importante sur une grande épaisseur en saison sèche. Ces alternances favorisent :

- la conservation de la montmorillonite ou d'argile riche en silice;
- des mouvements internes du sol qui peuvent donner naissance au microrelief "gilgaï" et qui se traduisent par des faces bosselées et luisantes sur les gros éléments structuraux.

Le vertisol est en fait un type particulier de sol hydromorphe présentant souvent, sous des horizons supérieurs très colorés bruns, gris, noirs, des horizons à gley ou pseudo-gley.

4.1. LA MATIERE ORGANIQUE

L'examen de la matière humique totale va refléter (tableau ci-après) des quantités relativement importantes d'acides humiques gris tant en surface (35 à 65%) qu'en profondeur (31 à 53%); les acides fulviques sont en quantité moindre (8 à 43% en surface - 0 à 37% en profondeur); les acides humiques bruns et intermédiaires peuvent être aussi importants (22 à 44% en surface - 17 à 49% en profondeur).

Les moyennes pour 7 profils prélevés entre les isohyètes 1100 et 600 mm sont les suivantes :

	surface	profondeur
acides humiques gris %	47,7	42,4
acides humiques intermédiaires %	11,6	12,5
acides humiques bruns %	17,4	22,2
acides fulviques %	23,3	22,9

4.2. PROCESSUS D'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE

Ces sols sont souvent affectés d'un important microrelief fait d'une succession de petites buttes et de petites dépressions de couleur plus foncée où vient s'accumuler la matière organique. Les échantillons T 451 et T 451' sont respectivement ceux d'une dépression et d'une butte voisine. Les taux de carbone total et de matière humique totale sont effectivement plus faibles sur butte, mais c'est sur cette dernière que la matière organique est la mieux polymérisée : 53,3% d'acides humiques gris contre 42% et où il y a le moins d'acides fulviques : 17,2% contre 29,9%. En profondeur dans ce profil, il y a augmentation des acides fulviques, 33,3%, tandis que diminuent les acides humiques bruns et intermédiaires.

Ceci est le reflet d'une constatation plus générale et à une autre échelle. Dans une dépression argileuse, les sols les plus longtemps inondés sont de type hydromorphe (légère ségrégation du fer, faible saturation du complexe, plus grande accumulation de matière organique, pH acide, ...), tandis que ceux en élévation sont des vertisols plus ou moins bien typés (saturation du complexe plus marquée, pH plus élevé, légère diminution des taux de matière organique, apparition des faces de glissement).

Le processus de transformation de la matière organique est voisin de celui des sols argileux hydromorphes.

- en saison des pluies, il y a accumulation de matière organique, libération de produits solubles. La réduction du fer se traduit par la

combustion d'une partie des substances carbonées (1). Le CO_2 dégagé se combine aux cations qui passent d'une forme ionisée à la forme soluble (CO_3^{--}, CO_3H^-).

- en début de saison sèche, en même temps que l'activité microbienne va se développer avec des conditions aérobies, il y aura forte polymérisation des substances humiques (acides humiques bruns et gris) dans un milieu relativement saturé en ions Ca et Mg, beaucoup plus saturé que celui des sols hydromorphes, tandis que les acides fulviques seront insolubilisés et que précipiteront carbonates et sulfates.

4.3. LA FRACTION ARGILEUSE. LA RECHERCHE DE PRODUITS AMORPHES

Dans les sols du Tchad, la fraction argileuse est un mélange de montmorillonite et kaolinite prédominantes et d'illite. Certains sols du moyen Logone cependant, bien que présentant le microrelief "gilgaï", sont à kaolinite dominante et à goethite. D'une façon générale, il y a disparition des raies de cette dernière aux rayons X en même temps que les sols s'enrichissent en montmorillonite.

Les teneurs en fer total varient de 5 à 8%. Ce fer apparaît lié dans une forte proportion au réseau de l'argile. Dans la recherche des produits amorphes (tableau ci-après et figures 172-173-174-175 : échantillons T 61 - T 63), le fer est libéré en totalité en même temps que disparaissent aux rayons X les raies de la montmorillonite (figure 176). Le départ d'alumine se traduit sous une forme linéaire comme ce que nous avions constaté pour certains sols ferrallitiques. Celui de silice présente une légère inflexion après 4 heures de traitement, inflexion qui correspond à celle de la courbe du fer.

La destruction du réseau cristallin de la montmorillonite n'entraîne pas le départ total de la silice et de l'alumine qui restent sans doute sous forme désorganisée. On perçoit souvent alors vers 12 Å un fond déformé.

Dans le dosage du fer libre par la méthode de Deb, les échantillons de sol contenant de la montmorillonite présentent aux rayons X, après traitement, des raies très amoindries de cette dernière. La connaissance des teneurs en fer dit "libre" n'apportera donc que peu de renseignements sur le degré d'évolution des sols lorsque ceux-ci contiennent de la montmorillonite ferrifère.

---

(1) KAMURA (T.), TAKAI (Y.), ISHIKAWA (K.) 1963 ont introduit dans un sol inondé du C 14 sous forme de CH_3 et COOH. Ils ont constaté que les quantités d'acétates, de succinates, de citrates apportées au sol et transformées étaient proportionnelles à la quantité de fer ferreux produite.

Origine	Pluvio-métrie	MHT ‰	AHG %	AHI %	AHB %	AF %
Eré						
T 411 (0-20 cm)	1000 mm	0,73	48,4	8,2	18,7	24,7
413 (105-125 cm)		0,25	31	13,8	27,2	28
Eré						
T 451 (0-15 cm) D	1000 mm	0,87	42	13,1	15	29,9
451' (0-15 cm) B		0,64	53,3	8,8	20,7	17,2
453 (120-140 cm)		0,12	48,5	8,4	9,8	33,3
Doudeï						
T 51 (3-20 cm)	1000 mm	1,74	64,8	11,3	11,8	12,1
52 (60-80 cm)		1,10	49,2	15,3	21	14,5
Koubo						
T 61 (0-20 cm)	900 mm	1,05	37,7	9,7	20,2	32,4
63 (60-80 cm)		0,61	40,3	10	25,1	24,6
Zakouma						
T 70 (0-5 cm)	950 mm	2,0	35,1	8,8	13,1	43
72 (60-80 cm)		1,95	36,5	7,2	19,4	36,9
Fort-Lamy						
T 481 (0-20 cm)	650 mm	1,76	46,5	11	16,9	25,6
Fort-Lamy						
T 511 (0-20 cm)	650 mm	1,62	48,4	23,3	20,3	8
513 (80-100 cm)		0,45	50,6	20,2	29,2	-

4.4. LA COLORATION DES VERTISOLS

La coloration de ces sols semble en liaison avec la composition de la matière humique totale riche en produits polymérisés.

Au cours de la recherche des produits amorphes, les traitements répétés par la soude amènent le départ progressif de ceux-ci et la coloration s'atténue rapidement. On passe ainsi de 2,5 Y 5/2 en surface, 2,5 Y 4,5/4 à 80 cm à 10 YR 6/1. Au cours du traitement, le réseau de la montmorillonite est détruit.

Pour HESS et SCHOEN (1964) et différents auteurs cités par ces derniers, ce sont les minéraux montmorillonitiques qui adsorbent les grands cations organiques dans les espaces interfoliaires des argiles (HAXAIRE-BLOCH 1956 - SIESKIND-WEY 1958) et sont responsables de fortes colorations (TURNER 1955).

Ces mêmes auteurs distinguent deux stades dans la vertisolisation, un premier stade hydromorphe où les substances organiques sont adsorbées par l'argile, un deuxième stade de dessèchement au cours duquel la matière organique non protégée par sa liaison avec l'argile est détruite dans sa quasi-totalité en conditions aérobies. A cette oxydation vont échapper les substances précédemment adsorbées et aussi celles qui se seront fixées aux surfaces extérieures de l'argile par l'intermédiaire d'hydroxydes de fer qui donnent une charge positive à l'argile (SCHEFFER (F.), ULRICH (B.), 1960, SCHUYLENBORGH (J.V.), ARENS (P.L.), 1950-1951). D'autres possibilités sont envisagées :

- liaison du complexe hydroxydesde fer - anion humique et de l'argile, chacun à charge négative floculant par la présence d'un cation (SCHEFFER (F.), ULRICH (B.), 1960);
- complexe fer - anions humiques adsorbés dans des sites négatifs des surfaces d'argile (Fe^{3+} ou Fe^{2+} conférant une forte charge positive aux complexes);
- lors du dessèchement, précipitation d'humate formant revêtement sur la surface des argiles.

Ces substances organiques liées aux argiles subiraient avec le temps une polymérisation progressive sous l'action catalysante du fer (SCHEFFER (F.), MEYER (B.), NIEDERBUDDE (E.A.), 1959). La jonction entre les substances organiques prises entre les feuillets et les substances externes s'effectuerait par une liaison entre acides aminés ou hydroquinone (CASSEBAUM (H.), 1958), adsorbés lors du stade hydromorphe.

4.5. POSITION DES VERTISOLS EN AFRIQUE. CONCLUSIONS

Les vertisols sont avant tout des sols tropicaux ou subtropicaux bien qu'ayant été observés en Europe par taches, notamment sur les marnes (1) du Keuper en Lorraine (M. BONNEAU, Ph. DUCHAUFOUR, G. MILLOT, H. PAQUET, 1964) et en Allemagne (MUCKENHAUSEN, 1962-1964) où certains sols vertiques ont été rattachés aux "pélosols".

En Afrique, dans l'hémisphère nord, leur développement se situe principalement entre les isohyètes 1300 et 400 mm. L'alternance de saison sèche et de saison des pluies plus ou moins bien marquée semble nécessaire pour leur élaboration. Sous des pluviométries plus élevées, l'on passe à des sols bruns eutrophes plus riches en matière organique, à structure grumeleuse en surface, cubique en profondeur, à rapport SiO_2/Al_2O_3 voisin de 2. Leur limite sud paraît à peu près correspondre à la limite nord des sols ferrallitiques.

Au nord de l'isohyète 400 mm, ils disparaissent de même assez rapidement et ne se manifestent plus que dans des zones alluviales où se conserve une forte humidité pendant une partie de l'année. Mais ici, les conditions d'aridité sont telles qu'elles favorisent des concentrations en sels solubles qui rendent ces derniers vertisols difficilement discernables, notamment par changement de leur structure. Ils réapparaissent au nord du

(1) Marnes constituées de montmorillonite et d'illite.

Sahara dansle bassin méditerranéen.

Au Tchad, les vertisols se développent principalement sur deux séries lacustres. Les mieux typées s'observent sur la plus récente, tandis que la série ancienne présente des vertisols parfois à quantités faibles de montmorillonite, à goethite, à abondants nodules calcaires et aussi des sols halomorphes très évolués (solonetz - solonetz solodisés).

5. L A S T E P P I S A T I O N

Ce terme traduit une minéralisation assez intense de la matière organique qui conduit à la formation d'acides humiques relativement stables qui vont conférer au sol une coloration foncée dans la gamme des bruns (10 YR du code Munsell). Cette coloration se dégrade progressivement avec la profondeur.

La steppisation se développe au Tchad en zone climatique sahélo-saharienne, sous des précipitations annuelles de 200 à 500 mm réparties sur 3 mois de juillet à septembre. Sous un tel climat, la végétation est essentiellement celle d'une pseudo-steppe à Aristidées dominantes et aux arbres rares. Il s'agit, d'une façon générale, de sols très sableux, bien drainés, ne présentant pas de niveaux d'engorgement. En présence de sols sablo-argileux à argilo-sableux, les caractères d'hydromorphie sont constants en même temps qu'il y a légère accumulation de matière organique et relèvement des rapports C/N. Il y a alors passage soit aux vertisols, soit aux sols hydromorphes.

Au Tchad, les phénomènes de carbonatation signalés en d'autres pays (Sénégal, Mauritanie, Niger,..) sont très rares. Il n'y a pratiquement jamais de fortes accumulations de CO_3Ca diffuse ou sous forme de poupées ou de nodules, comme l'on peut en voir dans le sud du bassin méditerranéen. Les rares fois que nous les avons observées, elles étaient liées soit à un drainage défectueux, soit à des actions de nappe ancienne ou actuelle.

5.1. LA MATIERE ORGANIQUE

L'examen de la matière organique de ces sols confirme la prédominance de produits organiques fortement polymérisés comme nous en avons trouvés dans les vertisols et les sols hydromorphes à mauvais drainage interne.

Dans le tableau suivant, nous avons séparé sols bruns et sols brun-rouge, ces derniers présentant assez souvent dans leurs horizons rubéfiés

des produits solubles abondants. Dans les premiers, il y a prédominance des acides humiques gris (35 à 50%), bruns et intermédiaires (30 à 40%), tant en surface qu'en profondeur, tandis que les acides fulviques sont en plus faible quantité (15 à 37%).

Origine	Pluvio-métrie	MHT ‰	AHG %	AHI %	AHB %	AF %
Sols bruns						
NE de Bokoro						
Bo 351 (10-20 cm)	550 mm	0,78	47,3	11,4	19,7	21,6
353 (80-100 cm)		0,36	34,9	8,2	19,9	37
Massakory						
FL*331 (120-140 cm)	450 mm	0,46	46	18,9	20	15,1
333 (180-200 cm)		0,23	38,5	10,9	27,2	23,4
NE de Fort-Lamy						
Da 81 (0-20 cm)	500-550 mm	0,54	41,7	12,7	19,9	25,7
83 (60-80 cm)		0,15	33,9	9,2	23,6	33,3
Sols brun-rouge						
N d'Ati						
T 11 (0-25 cm)	350 mm	0,24	56,6	6,8	15,8	20,8
13 (60-80 cm)		0,20	46,9	8,8	9,3	35
14 (100-120 cm)		0,14	28,3	2,2	5,2	64,3
Ouest d'Abéché						
A 591 (0-20 cm)	400 mm	0,29	30,9	6,7	22,7	39,7
Entre Biltine et Arada						
A 771 (0-20 cm)		0,25	44,5	7,5	16,6	31,4
772 (60-80 cm)		0,20	29,1	9,2	22,7	39
773 (100-120 cm)		0,12	26,4	6,5	12,9	54,2
NE de Bokoro						
Bo 311 (0-20 cm)	500 mm	0,35	29,1	5,6	12,5	52,8
313 (80-100 cm)		0,21	29,7	9,5	15,6	45,2

* sol brun fossile enterré sous des alluvions dans la dépression du Bahr El Ghazal

Dans les seconds, les teneurs en acides humiques gris sont variables, fonction de la position topographique. Les sommets ou pente de dune vont présenter les plus faibles valeurs dès la surface en même temps que la rubéfaction apparaîtra à très faible profondeur (profils A 59 - Bo 31). A l'inverse, sur les surfaces planes, la dominance en acides fulviques se notera seulement dans les horizons profonds (A 773, T 14).

5.2. PROCESSUS DE PEDOGENESE

Cette prédominance des acides gris et bruns apparaît ici en liaison avec le type de végétation et le régime hydrique du sol. La végétation de steppe par son cycle biologique a pour effet la concentration dans les horizons supérieurs du sol des éléments nutritifs et la saturation du complexe absorbant, principalement par les ions Ca. Le sol brun a un pH neutre qui tend à croître légèrement en profondeur. Cette saturation favorise la production de substances organiques assez fortement polymérisées et une minéralisation intense qui témoigne d'une grande activité biologique. Les taux de carbone total sont faibles, souvent inférieurs à 0,2%, tandis que les rapports C/N sont compris entre 8 et 10. Le régime hydrique de ces sols est caractérisé par un excellent drainage limité cependant par un déficit hydrique fonction de l'aridité du climat. L'entraînement en profondeur des produits solubles est naturellement restreint, ceux-ci sont rapidement insolubilisés.

Y. DOMMERGUES (1962) a montré l'importance de l'activité biologique dans ces sols et le fait que la minéralisation de la matière organique se produit encore pendant une longue période de la saison sèche, bien au-delà du point de flétrissement jusqu'à pF 5,6. Il y a seulement changement de processus en fonction de l'augmentation du pF (cellulolyse, ammonitrification, glucolyse ...).

Dans les sols brun-rouge, l'acidité des horizons profonds où prédominent les acides fulviques n'est pas sans nous rappeler les caractères des sols ferrugineux tropicaux dont ils ont hérité, tandis que la pédogenèse actuelle se manifeste dans la partie supérieure de leur profil par la production de substances organiques polymérisées.

5.3. COLORATION. LES LIAISONS FER-ARGILE-MATIERE HUMIQUE

La coloration de ces sols est due aux substances humiques (acides gris et bruns) liées aux argiles comme dans les vertisols. Le fer entre dans le réseau de la montmorillonite présente dans ces sols, les rapports $\frac{\text{Fer libre}}{\text{Fer total}}$ sont les plus faibles (20 à 25%) dans les échantillons où cette dernière est la plus abondante, contre 40 à 50% quand domine la kaolinite.

5.4. LESSIVAGE DE L'ARGILE

Sols bruns et brun-rouge présentent un léger lessivage de l'argile avec souvent "ventre" bien marqué sur le diagramme de répartition de l'argile avec la profondeur et parfois de fines raies d'accumulation argileuse ou ferrugineuse.

CONCLUSIONS

Les sols les mieux typés (sols bruns) s'observent sur les formations sableuses les plus récentes et sous végétation graminéenne (cordon sableux nord - cordon sableux Bongor - Koro Toro au nord de la latitude de Bokoro vers l'isohyète 600 mm - série sableuse récente).

Les sols brun-rouge ont subi deux pédogenèses successives, une première de type ferrugineux sur laquelle est venue se surimplanter la pédogenèse actuelle qui se marque parfois jusqu'à l'isohyète 650-700 mm (11° - 11°5 de latitude nord).

Au cours du Quaternaire, des phases arides sont descendues au-delà de cette limite. Elles n'ont laissé aucun vestige de leurs empreintes sur les sols, mais se reconnaissent grâce à des modelés dunaires. Les sols ont subi postérieurement des processus de ferruginisation au cours desquels se sont trouvées détruites les substances humiques formées précédemment, alors que celles-ci ont été conservées en régions désertiques où des paléosols de ce type s'observent (DUTIL, JUSTE 1965).

6. L'HALOMORPHIE

6.1. LES FACTEURS D'EVOLUTION

Les facteurs d'évolution des sols halomorphes sont nombreux. Ce sont :

- d'une part, les facteurs géographiques et climatiques;
- d'autre part, des facteurs divers : topographiques, de profondeur de nappe, de nature du matériau originel du sol ...

6.1.1. Les facteurs géographiques et climatiques

Ces sols sont peu répandus dans la partie sud du territoire du Tchad, la plus humide, où ils se développent essentiellement alors sur la série alluviale subactuelle à actuelle. Ils vont progressivement devenir plus abondants vers le Nord, en même temps que les conditions d'aridité s'accentuent. Ils deviennent alors dominants sur les séries suivantes : lacustre récente à actuelle, fluvio-lacustre des "regs", alluviale subactuelle à actuelle, tandis que dans les autres séries, ils seront moins fréquemment observés.

6.1.2. Les facteurs topographiques, la profondeur de la nappe, la texture du sol

La plupart des sols halomorphes se localisent au voisinage des zones basses où stagnent les eaux, dans les vallées où coulent les cours d'eau en saison des pluies. Ils constituent les bourrelets des fleuves, les buttes exondées au milieu des zones d'inondation ou bien des dépressions ou leurs bordures inondables par les lacs lors de leur crue.

A l'inverse, certains de ces sols s'observent en position haute. C'est le cas de ceux qui forment les piedmonts des massifs (Ouaddaï, Guera..) et dont les sédiments ont été déposés lors d'une phase ancienne d'extension lacustre. Cette halomorphie doit être considérée comme un caractère hérité.

Nous voyons que dans tous les cas, il y a une relation entre l'halomorphie et la présence de nappe ancienne ou actuelle, nappe d'eau libre, nappe phréatique permanente ou non. Dans le Sud et jusqu'au 13è parallèle, dans les parties exondées, la nappe phréatique est à des profondeurs relativement importantes, de l'ordre d'une ou plusieurs dizaine de mètres; mais en saison des pluies, il se produit dans les sols des nappes temporaires ou des niveaux d'engorgement proches de la surface, tandis que les parties basses sont submergées.

Sur la bordure de lacs (lacs Fitri, Iro),de mares permanentes ou semi-permanentes, de zones inondées temporairement, des nappes phréatiques vont se maintenir dans le sol une grande partie de l'année.

En bordure du lac Tchad, la nappe va demeurer toujours près de la surface, à moins de 1 à 2 m. Cette nappe par ailleurs en charge, alimentée par les interdunes qui constituent autant de bassins versants, est semi-artésienne.

Ces sols halomorphes se sont le plus souvent formés sur un matériau de texture assez fine où la fraction limoneuse ou argileuse est importante. Dans les plus sableux, se note tout au moins à faible profondeur un niveau sablo-argileux à argilo-sableux.

6.2. LES PROCESSUS D'EVOLUTION

Deux types d'évolution vont caractériser les sols halomorphes : la salinisation, l'alcalisation.

6.2.1. La salinisation

Le premier de ces processus évolutifs apparaît le plus simple. Pour l'étudier, nous partirons d'observations et d'analyses effectuées dans le polder de Bol Guini de création récente (1951) - PIAS, BARBERY, SABATIER (1960-1961-1964).

6.2.1.1. La nappe phréatique

Dans ce polder, elle est à faible profondeur et fluctue en cours d'année. La montée de la nappe est en relation avec l'arrivée de la saison des pluies, tandis que l'accroissement du niveau du lac a une répercussion très faible et plus lointaine (figures 177-178). La salinité de la nappe est très variable dans l'intérieur du polder et dans le temps (figure 179). On remarquera :

d'une part :

- la distribution par bandes orientées SN des salinités de la nappe;
- les salinités croissantes d'Ouest en Est et du Nord vers le Sud.

d'autre part :

- la décroissance de la salinité de la nappe de décembre à juin, ceci étant normal puisque pendant cette période de l'année, les eaux d'infiltration entraînent hors du polder, suivant la pente de la nappe, les eaux salées de lessivage apportées en saison des pluies.

La variation annuelle de la salinité de la nappe est diverse en fonction de l'emplacement choisi (figure 180). On observe généralement une remontée lente ou brutale avec l'apparition des pluies et corrélativement le lessivage des sols, une baisse en saison sèche en même temps que s'évacuent les eaux de lessivage et que s'abaisse le niveau du lac.

Les eaux de la nappe contiennent principalement des sels de sodium et de calcium. Le magnésium est parfois relativement abondant. Les quantités de potassium sont faibles, sensiblement constantes entre 0,5 et 1 me/litre.

Pour des conductivités comprises entre 0 et 2,5 millimhos, la concentration en sel de Na est très diverse : elle s'élève très rapidement (Na = 60 à 80% de S) pour des conductivités plus élevées.

Inversement, les pourcentages de calcium (Ca/S %) décroissent en même temps qu'augmente la conductivité. Ce rapport est le plus souvent inférieur à 10-20% pour des conductivités supérieures à 2 millimhos.

Les sels dissous sont des sulfates et des carbonates, les chlorures sont rares, à l'état de traces.

6.2.1.2. Les sols

Ils sont de texture limono-argileuse à argileuse, à très bonne structure, à complexe saturé riche en Ca (20 à 30 me %), en Mg (6 à 10 me %), en K ($>$ 1 me %); contenant peu de Na ($<$ 1 me %) sauf dans la partie sud du polder, ceci malgré des salinités non négligeables.

a. Variation de la salinité dans le profil de sol en cours d'année. Mouvement des solutions du sol. Phénomènes de remontée et de lessivage.

La figure 181 montre les variations de la salinité d'un profil au cours de deux années :

- une année à forte pluviométrie, 1961 (P = 504 mm)
- une année à pluviométrie moyenne, 1962 (P = 314 mm)

On note :

- de mai à septembre 1961, une diminution importante de la salinité dans le sol en liaison avec le lessivage dû aux pluies abondantes. Fin septembre, la salinité du profil égale celle de la nappe qui atteint pratiquement la surface du sol;

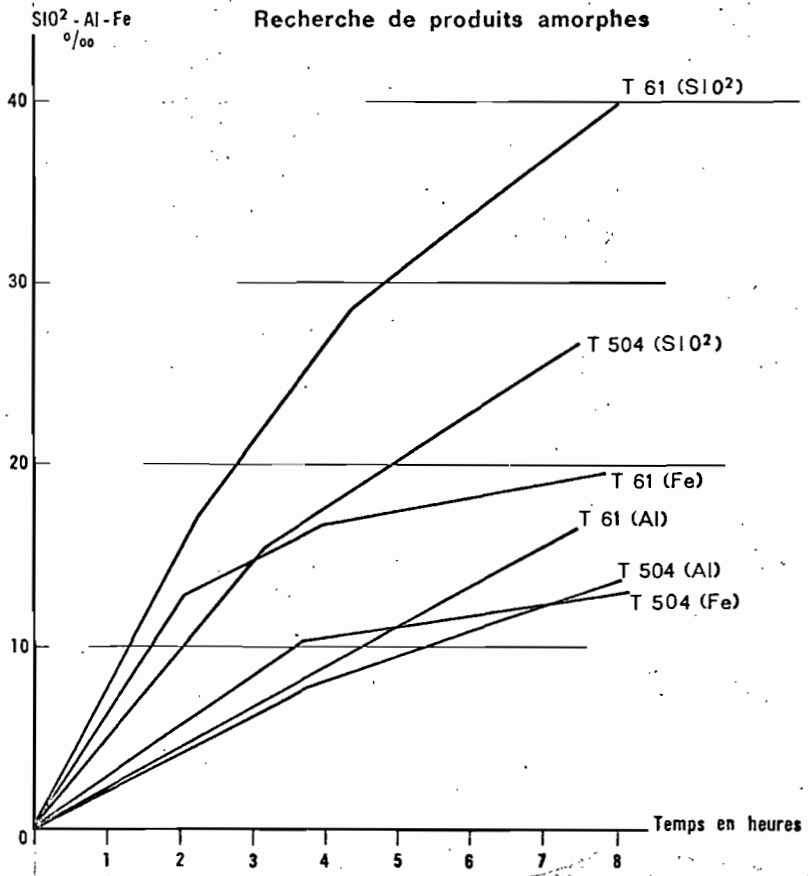


Figure 175

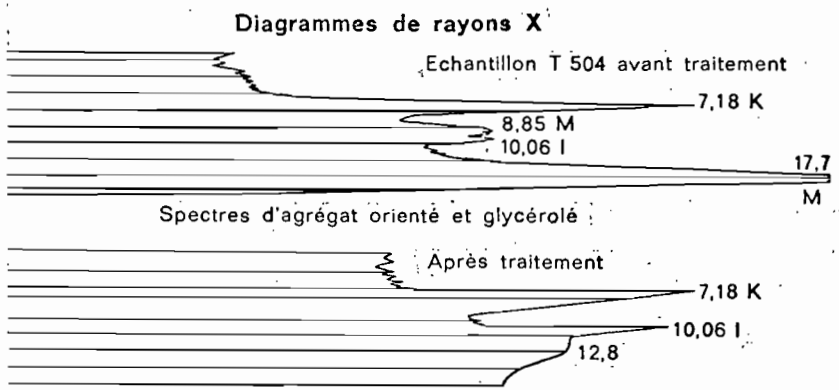
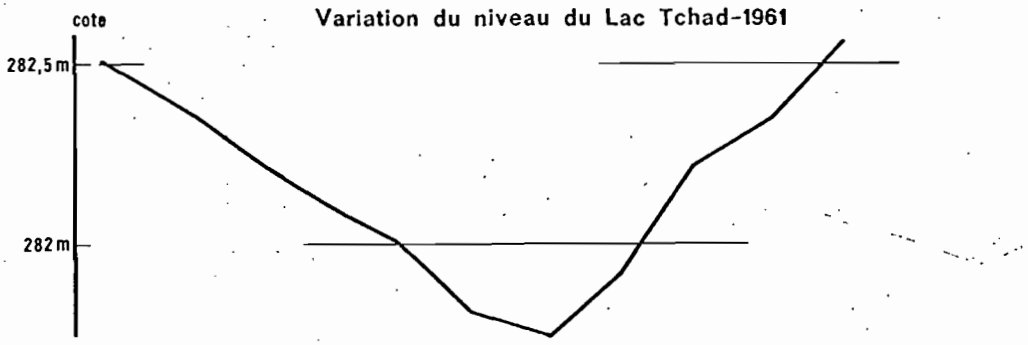


Figure 176



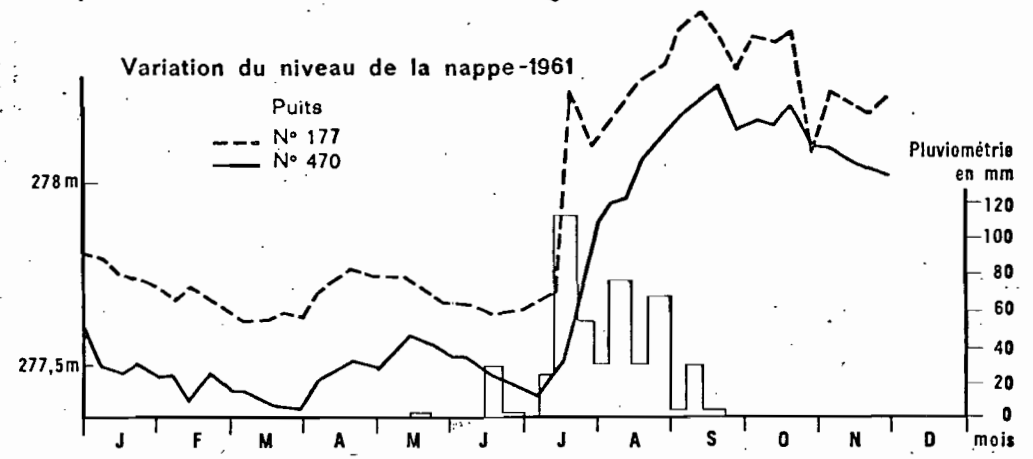


Figure 177

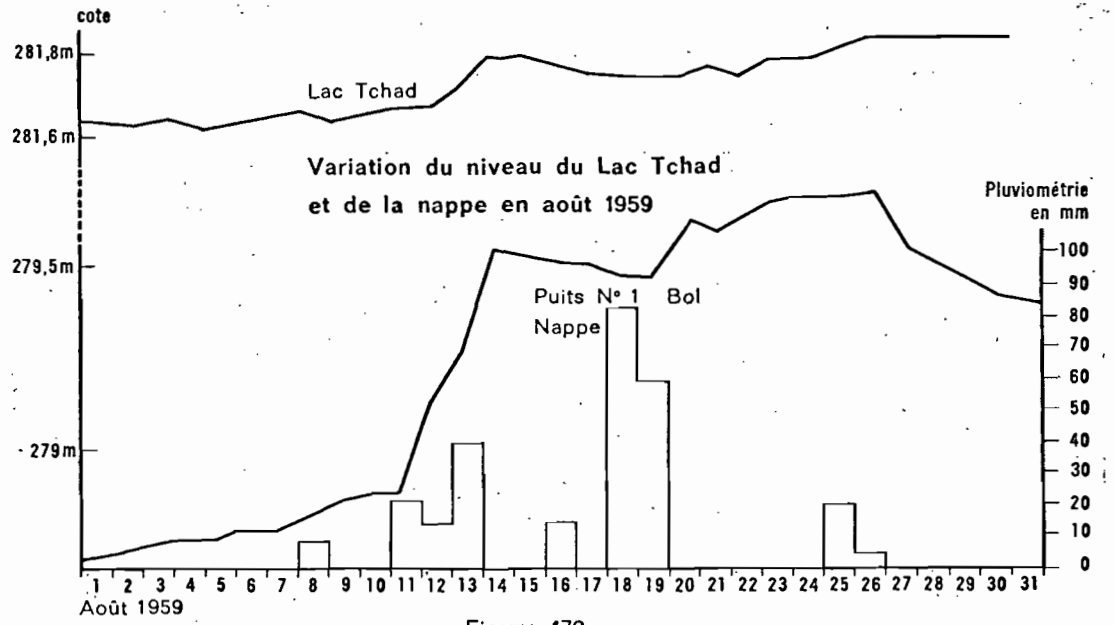


Figure 178

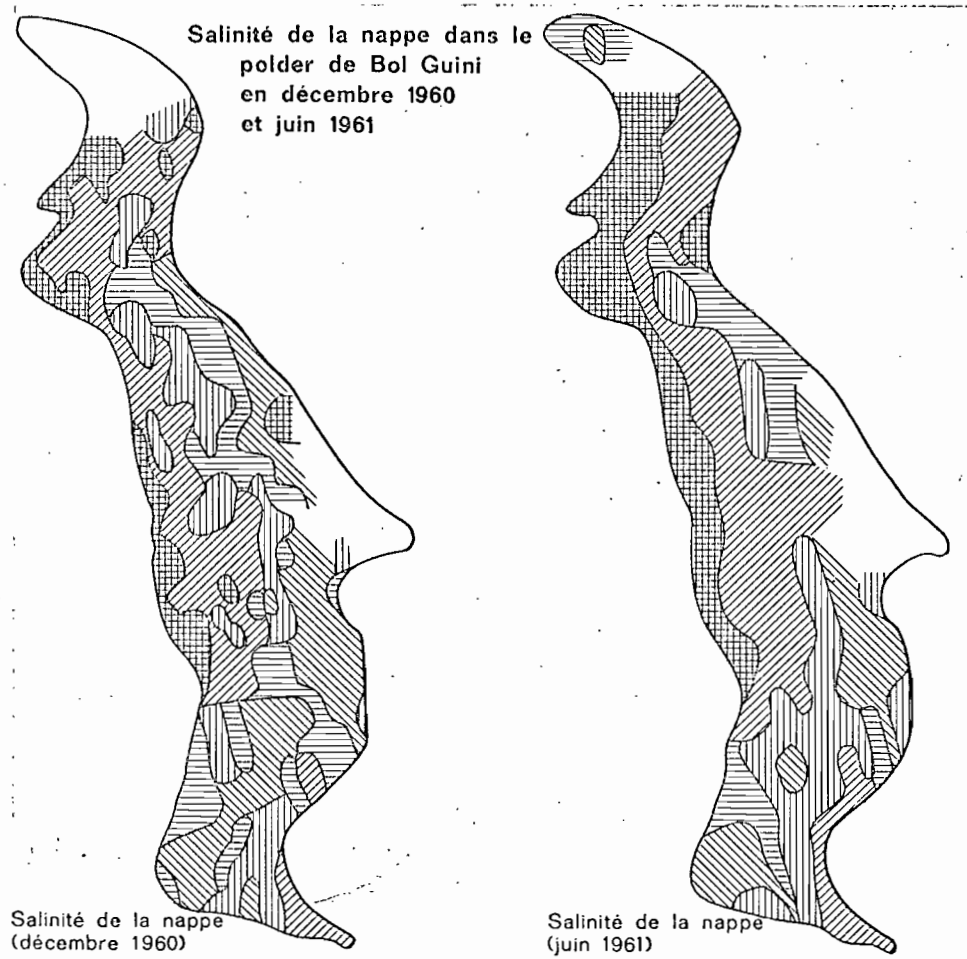


Figure 179

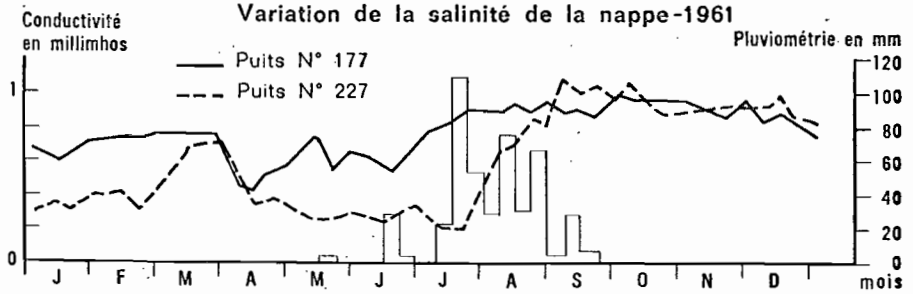


Figure 180

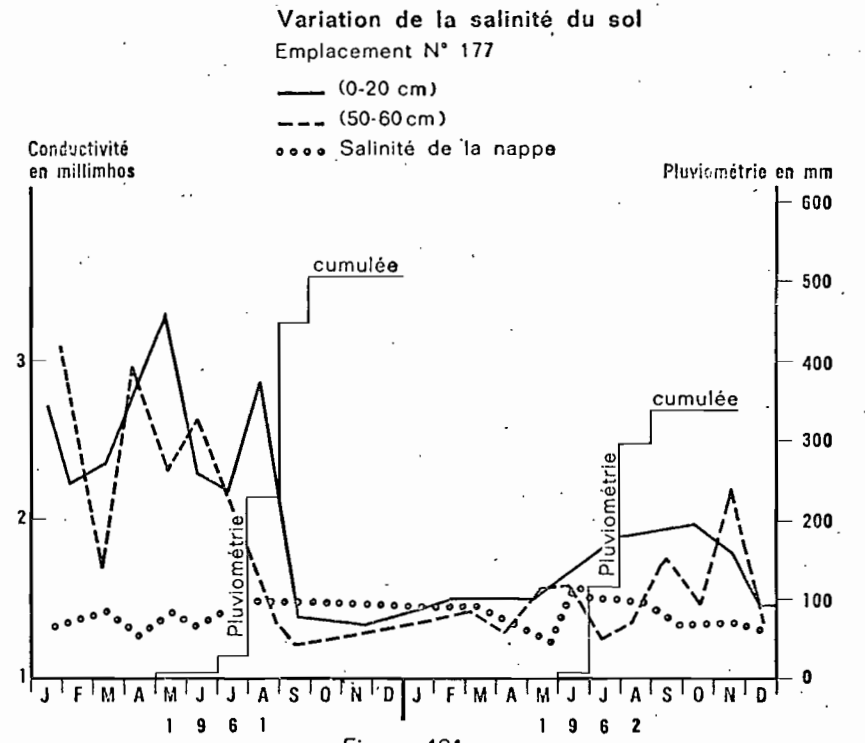


Figure 181

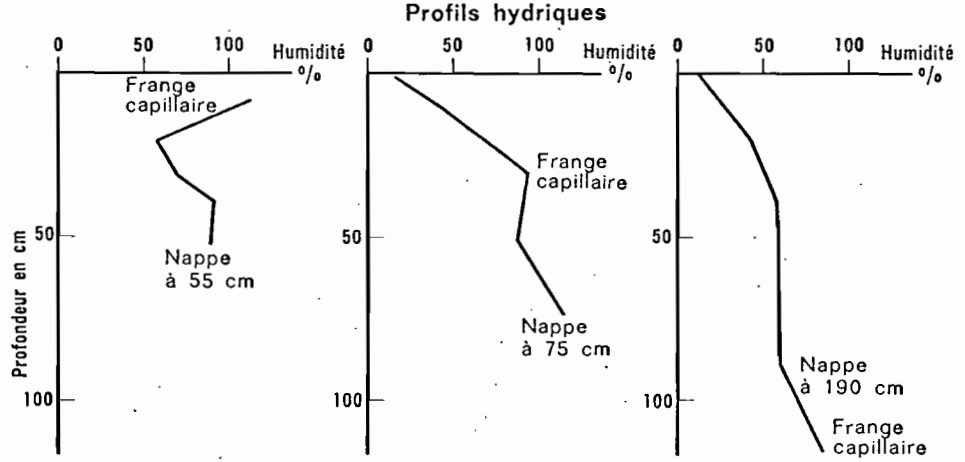


Figure 182

- de septembre 1961 à mai 1962, une très légère remontée de la salinité dans le sol, tandis que celle de la nappe diminue faiblement;
- de mai à octobre-novembre, une remontée de la salinité du sol en même temps que le niveau de la nappe s'élève, favorisant la remontée des solutions du sol qui joue à l'inverse d'une pluviométrie plus modeste que l'année précédente (moins de 50 mm en août, rien en septembre). La nappe à sa hauteur maximum en août est environ 30 cm plus basse que l'année précédente.
- à partir d'octobre, la salinité de l'horizon de surface diminue en liaison avec la redescente du niveau de la nappe et sans doute corrélativement du drainage du sol.

La courbe de salinité de l'horizon de profondeur est sensiblement identique, mais en dents de scie et légèrement décalée dans le temps, ce qui tend à confirmer l'influence du drainage.

La poursuite des observations en cet endroit (CHEVERRY 1965) en 1963 pour une pluviométrie de 270 mm, montre une courbe analogue à celle de 1962, fortement croissante de juin à septembre (maximum 3 millimhos).

De la comparaison de plusieurs années d'observation (1959 à 1963), on peut conclure que :

- le lessivage est très important pour des pluviométries de 500 mm. Il est d'autant plus important que le sol est plus salé, phénomène qui tend à se produire après plusieurs années de pluviométrie inférieure ou voisine de la moyenne (P = 290-300 mm). Le lessivage commence donc à se produire dans ces sols pour une pluviométrie de 400 mm.
- les phénomènes de remontée ont lieu pendant la période où la nappe est le plus près de la surface du sol. Ils commencent à se manifester pour une nappe profonde de 60 à 80 cm environ et s'accentuent avec la remontée de celle-ci. En saison sèche, pour une nappe en dessous de cette profondeur, les phénomènes de remontée sont négligeables en surface, notamment grâce à la structure finement grumeleuse de cet horizon qui produit un effet de "self mulching". En profondeur, la salinité tend alors à croître jusqu'à la frange capillaire, puis rediminue pour être voisine de celle de la nappe à son contact (profils hydriques, figure 182).

Si la nappe atteint la surface du sol et y séjourne assez longtemps, sa salinité et celle du sol sont égales.

Tous ces facteurs (profondeur et salinité de la nappe, pluviométrie plus ou moins élevée, inondation ....) jouant consécutivement expliquent la grande disparité de la salinité des sols dans le polder.

b. Variations interannuelles de la salinité

Elles sont difficiles à apprécier sur une aussi courte période.

La salinité des eaux de la nappe, malgré des baisses périodiques,

n'a jamais cessé de croître.

Celle des sols est moins nette. Ainsi, après deux années de faible pluviométrie (1962-1963), l'augmentation était plus ou moins importante en fonction de la position des sols dans le polder; mais nous savons qu'il suffit d'une année à forte pluviométrie, comme celle de 1961, pour faire très rapidement redescendre cette salinité. En fait, nous pensons que la salinité des sols comme celle de la nappe évolue entre deux parallèles ascendantes dont elle peut sortir provisoirement.

c. Exudation saline superficielle. Nature des ions

Une pellicule épaisse de quelques millimètres se voit parfois à la surface des sols salés. Sa coloration est en liaison avec l'humidité du sol. Dans les parcelles d'irrigation, en fonction du microrelief, s'observent différentes tonalités : blanche sur les points en élévation, jaunâtre, brunâtre, noire dans les parties basses encore humides.

Dans les ouadis du pourtour du lac Tchad, très fortement salés, cette pellicule prend l'aspect d'une croûte boursouflée qui se détache en lamelles. Après la saison des pluies, dans les parties en voie d'assèchement entre cette croûte et le sol sous-jacent, existe une pellicule d'eau noirâtre fortement salée, colorée par des humates sodiques qui se forment dès que le milieu est enrichi en carbonate de sodium.

Dans cette exudation saline, dominent souvent les sulfates. Il en est de même dans le sol sous-jacent et ceci explique les pH parfois relativement bas de ces sols dits "natronés" (8-8,5). Dès que le carbonate de sodium fait son apparition, on assiste au relèvement brutal des pH (9-10,5). Les chlorures sont plus rares. Le sodium est le cation dominant. Cette exudation apparaît suivant l'état de dessiccation du sol : blanche ou jaunâtre en saison sèche du fait de l'abondante cristallisation des sulfates, brunâtre dès que ceux-ci sont solubilisés et que prédomine la coloration des humates sodiques.

Origine	Ouadis sur la bordure nord du lac Tchad						
N°	H 1031	H 1041	H 1071	H 1091	H 1200	H 1251	H 1281
C à 25° extrait sat.	114,28	123,07	61,53	102,57	126,4	100	86,95
Ca me %	1,26		4,6		traces	4,3	1,5
Mg me %	16,95		3,85		2,9	15,5	4,4
K me %	8,8		18,9		11,55	30,15	18,3
Na me %	171,7		64,2		260,9	191,7	73,9
CO_3 me %	2,4	1,25	1,8	2,35	66	29,4	1,1
SO_4 me %	201	218,75	82,3	138,6	146	183,2	75,8
Cl me %	20,9	7,8	5,8	30,4	35	8,3	7,1

d. La matière organique. Sa migration en sol salé

Dans ces sols de polder (Iriri I, IV, Bol 2631, 1191, 461, 462), la fraction humique totale apparaît constituée par une forte proportion d'acide fulvique : 40 à 50% en surface, 60 à 80% en profondeur.

A l'inverse, la fraction acide humique gris fortement polymérisé est faible, 10 à 20% en surface et en profondeur, exceptionnellement 40% en surface. Cette faible polymérisation peut s'expliquer par des phénomènes d'engorgement prolongés et une phase anaérobie très importante. Nous sommes donc en présence d'une matière organique susceptible de migrer facilement en profondeur avec les fluctuations de la nappe. Dans les sols salés, c'est l'ensemble de la matière humique qui migre, une partie des humates passant en profondeur sous forme sodique et soluble (Mao 7). La fraction humique totale est alors plus importante en profondeur qu'en surface.

Origine	MHT‰	AHG %	AHI %	AHB %	AF %	Conductivité en mmhos sol	Conductivité en mmhos nappe	Prof. de la nappe en cm
Iriri I (0-20 cm)	3,04	42,8	13,7	21,8	21,7	-	-	-
IV (125-150cm)	0,26	22,1	7,8	12,4	57,7	-	-	-
Bol 2631 (0-20 cm)	3,53	11,7	8,1	33,5	46,7	2,1	1,6	40
1191 (0-20 cm)	3,89	18,1	6	36,6	39,3	4,9	1	70
461 (0-20 cm)	7,28	18,5	7,6	33,9	40	4,4	0,4	125
462 (50 cm)	2,86	7,8	2,7	10,5	79	3,2	-	-
Mao 71 (0-5 cm)	0,93	37,5	4,6	6,3	51,6	15,2	58	surface
72 (40-60 cm)	1,40	18,2	6,7	13	62,1	10	-	-

Nous donnons ci-dessous les quantités d'humate soluble extrait à l'eau d'un profil de sol salé en mettant en parallèle les quantités de fer libre de chacun des horizons (profil H 120).

N°	Origine	Prof. en cm	Fe_2O_3 libre %	Fer libre / Fer total %	Matière humique %	Conductivité en mmhos
H 1201	Ouadi de koona	1-20	0,096	3,4	1,66	76,2
1202		20-45	0,288	7,3	2,66	15,09
1204		70	0,800	13,9	3,85	19,29
H 1081	Ouadi de Madirom	2-20	1,232	27,1		2,1
1082		20-40	1,28	26,4		2,62
1083		80-100	1,52	26,7		1,1
H 1321	Polder de Bol Guini	0-20	1,504	23,1		5,8
1322		20-40	0,720	15,6		3,3
1323		80	0,816	18,5		2,5

Nous voyons ici que l'augmentation des teneurs en humates solubles à l'eau en profondeur coïncide avec celle des taux de fer libre.

En sol peu ou non salé, ces teneurs en fer libre sont relativement plus constantes et plus élevées (profils H 108 - H 132).

Les teneurs en carbone total dans ces sols de polder subissent d'importantes variations annuelles en fonction de la saison et de la fluctuation de la nappe en liaison avec l'activité microbienne et les entraînements d'acides fulviques ou d'humates solubilisés par la présence de sodium (figure 183). Les variations interannuelles du carbone total sont peu connues. Dans les parties anciennement occupées par le lac et aujourd'hui exondées (ouadis de l'intérieur des terres - Bahr el Ghazal), les teneurs actuelles sont beaucoup plus basses (carbone : 2 à 2,5%) que dans les polders (5 à 7%). Ceci milite en faveur d'une disparition relativement rapide de la matière organique dès que les conditions favorables d'accumulation ont disparu.

e. Fraction argileuse

Elle apparaît, en fait, plus différente en fonction de la position géographique que de la nature du sol lui-même et la présence d'horizon salé ou non.

- Sur la bordure du lac Tchad, dans les polders, association montmorillonite - kaolinite - illite.
- Dans les ouadis de l'intérieur des terres, au nord du lac Tchad, région de Mao, la montmorillonite est parfois plus importante, associée à une faible fraction de kaolinite et de calcite, mais on observe encore des mélanges de kaolinite - illite - montmorillonite (sol salé ou non).
  De fines poussières de quartz accompagnent la fraction minérale argileuse pour des fortes proportions (50% environ).
- Dans la dépression du Borkou, l'illite est souvent abondante, 40 à 50%, associée à de la montmorillonite (25 à 30%) et à de la kaolinite (15 à 35%). Ici aussi la fraction quartzeuse fine est importante, 20 à 35%. Il n'apparaît pas de différence de composition minéralogique entre un horizon salé ou non.

CONCLUSIONS

Au Tchad, les lieux d'actuelle salinisation sont connus. Il s'agit des pourtours immédiats d'étendues lacustres.

- Pourtour du lac Iro

Climat soudano-guinéen (pluviométrie = 1000 mm), salinisation faible à nulle. Quelques rares exemples observés, mais la conductivité du sol est toujours inférieure à 4 millimhos. Il n'y a pas de nappe phréatique permanente à faible profondeur sur le pourtour immédiat. La nappe est à 10-20 m ou plus.

- Pourtour du lac Fitri

Climat sahélo-soudanien, limite du climat sahélo-saharien (pluviométrie = 550 à 500 mm). Pas de nappe phréatique proche de la surface, mais la salinisation est importante, fréquemment 4 - 8 - 10 millimhos dans certains horizons du sol en surface ou à faible profondeur dans les sols périodiquement inondés. Les eaux du lac ont de faibles salinités (0,1 - 0,2 millimhos).

- Pourtour du lac Tchad et ouadis des régions nord et est

Climat sahélo-saharien (pluviométrie = 500 à 200 mm). Salinisation importante de tous les sols à nappe phréatique proche de la surface. La nappe phréatique a les conductivités les plus diverses, tandis que la salinité des eaux du lac est faible (0,1 millimhos). La salinité des sols est très élevée avec des exudations salines superficielles. Dans l'intérieur des terres, nombreuses évaporites.

Des accumulations de sels solubles peuvent s'observer à des profondeurs plus importantes (1 à 3 m) - Bahr el Ghazal, ouadis au nord et à l'est du lac Tchad, dans des parties où la nappe est généralement profonde (5 - 10 m ou plus). Elles sont la marque de fluctuation du niveau de cette dernière au cours de périodes récentes du Quaternaire. Cette salinité a ensuite progressivement disparu par lessivage. C'est ainsi que s'observent dans le Bahr el Ghazal ces différents stades de salinisation. Les hautes terrasses peuvent avoir des horizons profonds salés (nappe phréatique 5 à 20 m), tandis que des cuvettes à nappe proche inférieure à 1 m, telle celle de Chèdra, vont présenter des sols salés du même type que ceux de la bordure du lac Tchad.

6.2.2. L' a l c a l i s a t i o n

Il s'agit là d'un processus plus complexe que le précédent qui se traduit par une fixation du Na sur le complexe argilo-humique du sol, ayant pour conséquence une dégradation qui se marque par :

- une structure massive (cubique, en colonnettes, prismatique) dans les horizons supérieurs, prismatique ou polyédrique en profondeur. Ces derniers horizons présentent malgré leur forte compacité une cohésion assez faible et les éléments structuraux se délitent en petits polyèdres. L'instabilité structurale est élevée;
- une perméabilité faible à nulle. Sur le terrain, les eaux ruissellent ou vont s'accumuler dans des micro-cuvettes. En saison des pluies, le sol apparaît couvert de multiples mares.

D'autres caractères marquent également l'alcalisation; ce sont la présence :

- à la surface du sol, de plages sableuses localisées autour des arbres ou de façon discontinue, alors qu'ailleurs apparaît l'horizon sous-jacent grisâtre portant d'abondants petits amas calcaires et de petites concrétions noires ferromanganiques.

- à faible profondeur dans le profil, d'un pseudo-mycelium faisant effervescence à l'acide et d'amas calcaires.

6.2.2.1. Rôle des cations

Si l'ion Na est depuis fort longtemps reconnu comme responsable du changement de la structure du sol tandis que l'ion Ca à l'inverse joue comme floculant, le rôle des ions Mg et K a été longtemps discuté.

DURAND (1956) décrit en Algérie des solonetz magnésiens à propriétés physiques analogues à celles des solonetz sodiques. JANZEN et MOOS (1956) notent des sols identiques, tandis que RIECKEN (1944) avait démontré précédemment que la rétention du magnésium peut être favorisée par des conditions initialement alcalines et qu'après le départ du sodium par lessivage se trouvent conservées les propriétés physiques et la morphologie.

Pour JOFFE (1949), c'est la présence de sulfate dans les solonetz qui facilite la fixation de Mg sur le complexe aux dépens de Ca, SO_4Ca étant moins soluble. L'entraînement de la silice admise lors de la dégradation du solonetz donnerait une accumulation de silicates magnésiens moins solubles que les silicates calciques éliminés.

U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954) attribue au Mg un rôle identique à celui du calcium et le traduit dans le rapport SAR : "Sodium adsorption ratio" :

$$\frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

E. KOUHESTANI (1964) a mis en évidence par des mesures physiques le rôle de chacun de ces cations.

- Ion Na
  - La fraction agrégée stable à l'eau diminue avec l'augmentation de concentration en Na et devient nulle pour Na/T = 50%. En associant Na avec Ca ou Mg, on constate que l'effet protecteur de Ca est légèrement plus fort que celui de Mg.
  - Le taux de dispersion augmente avec la concentration de Na.
  - La perméabilité diminue régulièrement avec l'augmentation de concentration avec une chute brutale pour Na/T = 20%.
  - La teneur en eau du sol et le point de flétrissement augmentent avec la concentration en Na.

- Ions Ca et Mg

. Variation très légère de la fraction agrégée avec la concentration.

. Pas de variation du taux de dispersion avec la concentration.

. La perméabilité augmente avec la concentration.

. La teneur en eau du sol est invariable quelle que soit la concentration. L'épaisseur de sol humecté à pluviométrie égale sera plus importante en sol saturé en Ca et Mg qu'en sol saturé en Na.

L'ion Mg se comporte donc comme l'ion Ca.

- Ion K peu abondant dans les sols jouerait un rôle analogue à celui de l'ion Na.

6.2.2.2. Les phénomènes de remplacement. Les accumulations calcaires

D'une façon générale, on constate une augmentation des taux de sodium échangeable dans ces sols avec la profondeur qui tend à indiquer une alcalisation plus poussée des horizons profonds. On assiste alors à des phénomènes de remplacement, principalement des ions Ca et Mg, parfois K, par des ions Na dans un complexe saturé.

N°	H 2161	H 2162	H 2163	F 691	F 692	F 693
Profondeur en cm	0-10	10-30	80-100	0-20	30-50	70
Bases échangeables						
Ca me %	13,3	23,3	11,1	4,5	7,9	3,6
Mg me %	3,4	1,7	0,4	1,5	1,5	1,5
K me %	1,05	0,7	1,0	0,40	0,45	0,30
Na me %	3,25	11,85	42	1,5	5,55	9,8

Le remplacement de Ca par Na est un phénomène très général observé sur les différentes séries et en tous lieux. Celui de Mg se marque surtout dans les dépôts lacustres récents et particulièrement dans le sillon du Bahr el Ghazal (profil H 216).

Le sodium qui va se fixer sur l'argile en remplacement de Ca et Mg provient des sels solubles (CO^3HNa, CO^3Na^2, tandis que les nouveaux sels formés (CO^3Ca, CO^3Mg, SO^4Ca) peu ou moins solubles précipiteront et donneront le pseudo-mycelium et les amas calcaires du sol.

L'analyse granulométrique du résidu de ces derniers après destruction du CO_3Ca montre une composition sensiblement identique à celle de l'horizon de prélèvement. (Tableau p. 271).

6.2.2.3. La fraction argileuse et le fer

Les argiles de ces sols sont essentiellement constituées par des mélanges où dominent montmorillonite et kaolinite et plus rarement illite. Ici encore une grande partie du fer entre dans le réseau cristallin de la montmorillonite.

Lors de la recherche de produits amorphes, le matériau argileux se détruit en partie et rapidement par des attaques alternées à l'acide chlorhydrique et à la soude. Les courbes de départ de SiO_2 et Al sont assez redressées, mais présentent un léger point d'inflexion après 3 $h\frac{1}{2}$ de traitement qui correspond à la fin de la destruction de la montmorillonite, ce que montre l'examen aux rayons X, tandis que le fer est alors éliminé dans sa presque totalité (figures 172-173-174-175-176 - échantillons T 501 - T 504).

6.2.2.4. La matière organique

Celle-ci est en faible quantité, parfois très faible dans les horizons superficiels sableux de lessivage. Les teneurs en acides fulviques sont relativement importants (35 à 60%) pour des sols saturés, à pH élevé, les acides humiques gris moyennement représentés (25 à 35%). Ceci peut être dû à l'abondance des ions Na sur le complexe, la moindre quantité d'ions Ca et Mg insolubilisés sous forme de sulfates et de carbonate où ils n'ont plus d'action sur la polymérisation des substances organiques solubles dont la migration dans de tels sols imperméables est très réduite.

Origine	Pluvio-métrie	MHT ‰	AHG %	AHI %	AHB %	AF %
Dabkaraye						
Da 14 (70-90 cm)	500 mm	0,30	35,4	8,8	15,8	40
Da 111 (0-20 cm)	à 550 mm	0,78	37,9	9	19,8	33,3
113 (60-80 cm)		0,34	27	13,4	23,6	36
SE d'Arada						
A 1871 (0-5 cm)	200 mm	0,19	24,5	9,1	8,5	57,9
1873 (100-120 cm)	à 300 mm	0,44	23,4	6,9	15,2	54,5
N d'Arada						
A 1391 (0-20 cm)	200 mm	0,58	30,6	12,6	15,4	41,4
1392 (50-70 cm)	à 300 mm	0,41	30,1	12	21,3	36,6

6.2.2.5. Processus d'alcalisation

Ces processus nécessitent en premier lieu une source de sels solubles, celle-ci pouvant être d'origine géologique (gisements fossiles de sels de sodium sous une forme quelconque remis à jour par érosion ou par des actions de nappe) ou d'origine pédoclimatique.

La première origine est à éliminer puisqu'aucun sondage, même profond, n'a décelé de niveaux salins et que les nappes de profondeur ne révèlent pas de taux importants de sodium, à deux exceptions cependant. Une source située près de Pala où la transgression cénomanienne est parvenue (E. ROCH 1953) est riche en chlorure de sodium; des forages profonds effectués au nord du lac Tchad dans le polder de Bol Guini indiquent deux niveaux de nappe dont la salinité est relativement importante :

- 1er aquifère à 10 m (0,5 à 1,5 millimhos, mais 4 millimhos dans la partie sud du polder);
- 2ème aquifère 20 à 70m (1,6 millimhos en moyenne; la salinité augmente du Nord vers le Sud dans le polder avec un maximum de 6,3 millimhos) (1).

Il reste donc à considérer l'origine pédoclimatique ou plutôt les origines de ces sels de sodium.

a. Processus fondamentaux

La première origine de l'alcalisation doit être recherchée dans la salinisation du sol au contact d'une nappe plus ou moins fortement minéralisée.

Lorsqu'une nappe fluctue dans un sédiment, il s'établit un équilibre chimique entre cette dernière et le complexe absorbant du sol, tandis que les sels solubles qui peuvent précipiter en saison sèche sont remis périodiquement en solution par remontée de la nappe ou par lessivage en saison des pluies.

Un sédiment immergé en milieu lacustre peu minéralisé, va fixer principalement les cations des sels les moins solubles (Ca et Mg). A l'inverse, le sol ne fixera après son émersion que les cations les plus solubles des solutions du sol (Na) si celles-ci sont concentrées, tandis que les autres précipiteront de façon irréversible. Au cours de l'émersion d'un sédiment de polder, on assiste à des concentrations progressives des eaux de la nappe ou pour des conductivités déjà élevées (2-3 millimhos).Na représente 60 à 80% de la somme des cations tandis qu'inversement le pourcentage de Ca diminue avec la conductivité et est inférieur à 10-20% de S pour des conductivités de 2 millimhos.

Après émersion totale et retrait de la nappe à une profondeur où son action directe sur le profil sera faible ou nulle, les sels solubles demeurés dans le profil vont enrichir les solutions du sol en fonction de leur solubilité. Les phénomènes de remplacement vont alors jouer (fixation de Na sur l'argile en remplacement de Ca ou Mg. Précipitation de ces derniers sous forme de carbonate ou sulfate). Après la disparition de ces sels solubles,

---

(1) Ces salinités sont relativement élevées comparées à celles des eaux du lac actuel et donnent à penser qu'elles proviennent de la dissolution de sels contenus dans des sédiments. Donc, des surfaces anciennes ont déjà joué le rôle d'évaporite dans une période antérieure.

un premier équilibre sera atteint et les caractères morphologiques et physiques des sols à alcalis acquis.

Une seconde origine de l'alcalisation doit être recherchée dans les phénomènes de remontée des solutions du sol qui se produisent dans des sols à texture relativement fine lorsque ceux-ci sont placés dans une situation topographique particulière (bourrelets latéraux de cours d'eau où séjournent des mares en saison sèche - buttes exondées au milieu de plaines d'inondation). Il se produit alors des nappes temporaires dans ces sols. Bien que très peu minéralisées, elles sont une source de sels solubles et d'enrichissement progressif des argiles en sodium. Le déboisement lié aux cultures intensives va d'ailleurs favoriser cette alcalisation. Ce phénomène est bien connu, car ces terres fertiles initialement, sont très recherchées des agriculteurs et utilisées sans rotations ni jachères. Elles sont progressivement abandonnées au fur et à mesure que l'évolution s'accentue. Dans un stade où l'alcalisation est encore faible, l'autochtone leur reproche d'être peu perméables, "ils sont trop secs". Il pallie cet inconvénient en construisant des diguettes qui obligent l'eau des précipitations à séjourner sur le terrain. Au stade ultime, ils sont abandonnés et la végétation spontanée composée de quelques rares arbustes (Acacia seyal, Lannea humilis) s'y regénère difficilement.

Ces processus d'alcalisation peuvent se trouver accrus par certains phénomènes d'échange qui ont été décrits par G.C. LEWIS - M.A. FOSBERG (1964); ceux-ci se produisent entre les sols à alcalis à très faible perméabilité et des sols voisins dont les capacités de rétention pour l'eau sont différentes. Ceci va aboutir à un appel des solutions, de sols associés perméables, de niveaux d'engorgements, de nappes superficielles temporaires ou permanentes, vers les sols présentant un déficit de saturation en eau, en l'occurrence les sols à alcalis. Ces auteurs, en utilisant du soufre radioactif, ont pu suivre les migrations de ces solutions qui vont accentuer les phénomènes d'alcalisation.

Une troisième origine de l'alcalisation fait appel comme source d'enrichissement en sodium à la décomposition de feldspaths sodiques ou calco-alcalins. Ce processus est celui qui se produit sur le pourtour des massifs du Ouaddaï et central tchadien où les sols à alcalis sont abondants. Une partie du sodium provient sans doute aussi là des premiers processus décrits, c'est-à-dire de phénomène de remontée de sels solubles sur le pourtour d'une ancienne étendue lacustre. L'alcalisation pourrait être considérée dans ce cas comme partiellement héritée.

b. Processus secondaires

Ce sont ceux qui se développent lorsque le sol a atteint un degré d'imperméabilité très élevé qui va favoriser des phénomènes d'altération superficielle donnant naissance à :

- des sols lessivés à alcalis
- des sols à alcalis à argile dégradée.

Ces sols ont été identifiés primitivement en Europe centrale puis observés dans différentes parties du monde à hiver froid : aux USA, au Canada, en URSS, en Yougoslavie mais aussi sous des climats tropicaux : Amérique du Sud (Argentine), Australie, Afrique (Kenya, Tanganyika, République Sud Africaine, Soudan, Ghana...).

Les premiers sont caractérisés par un horizon A superficiel sableux-sablo-argileux, reposant sur un horizon B argilo-sableux à structure massive ou prismatique, cubique ou en colonnettes sur 20 à 40 cm (solonetz) - PIAS 1962 - puis à structure massive ou polyédrique.

L'horizon A est considéré comme étant lessivé en argile tandis que les produits de lessivage s'accumulent en B. En fait, l'apparition d'un "ventre d'accumulation" en B n'est pratiquement jamais observé, seulement perçoit-on parfois une très légère accumulation sous forme de bec au sommet du B.

Les seconds sont caractérisés par un horizon A_2 blanchi, appauvri en argile. Le sommet du B, B_1 sommet des colonnettes, est également blanchi, appauvri en argile et à porosité vésiculaire. L'horizon B_{ca} suivant est argilo-sableux. Il s'agit de solonetz solodisés définis au Tchad par BOCQUIER (1964). L'observation de la fraction argileuse de ces sols montre une prédominance de montmorillonite ferrifère dans les horizons profonds B, tandis que dans les horizons A_1, A_2, B_1, celle-ci très dégradée, disparaît partiellement faisant apparaître une accumulation relative de kaolinite. Cette dégradation est interprétée comme le résultat d'une hydrolyse alcaline sous l'action des ions Na (BOCQUIER 1964 - PAQUET-BOCQUIER-MILLOT 1966).

Cet appauvrissement en argile que l'on note dans la partie superficielle des profils, n'est pas sans rappeler celui que nous avons signalé dans l'horizon A de sols ferrallitiques et de sols ferrugineux tropicaux à horizon B très riches en argile. Nous avions proposé de mettre au compte de substances organiques solubles cet appauvrissement.

Les sols à alcalis présentent aussi une relative abondance de tels produits qui stagnent à la surface du sol en saison des pluies, le pénètrent peu ou ruissellent (1). L'étude des produits amorphes n'a pas cependant révélé la présence de silice ou d'alumine de ce type, la montmorillonite se détruisant très rapidement lors des attaques répétées par la méthode utilisée et donnant des départs de Si, Al, Fe très importants.

CONCLUSIONS

Les processus pédoclimatiques d'alcalisation apparaissent multiples et variés puisqu'ils font intervenir la position topographique, les actions de

(1) Sur ces sols, les coefficients d'écoulement sont relativement importants (20 à 25 %) pour 8 à 10% pour des sols d'arène grossière (TIXIER et al, 1960).

nappe diversement minéralisées, la juxtaposition de sols à pouvoirs divers de rétentions d'eau, la nature du sédiment initial (présence de feldspaths alcalins, calco-alcalins ...).

Ces divers processus apparaissent comme relativement rapides; certains sont à l'échelle humaine (alcalisation de la partie sud du polder de Bol Guini, défrichements et cultures intensives ...). Il n'en est pas moins vrai qu'ils ont pu se produire très anciennement et sont alors la manifestation de périodes climatiques antérieures.

7. C A R B O N A T A T I O N

7.1. ACCUMULATIONS CALCAIRES DIFFUSES ET ENCROUTEMENTS EN MILIEU SALE ET HYDROMORPHE

La salinisation s'accompagne souvent de dépôts calcaires qui se présentent sous plusieurs formes.

Dans les sols argileux où la nappe est relativement proche de la surface (50 à 80 cm) on observe une accumulation diffuse peu visible. Le sol fait effervescence à l'acide. Les plus fortes teneurs se notent dans les horizons superficiels (3-4-5 %) et il y a peu ou pas de CO_3Ca en profondeur.

Dans les sols où la nappe est à plus grande profondeur, le carbonate de calcium s'organise par poches de quelques centimètres de diamètre aux limites mal définies dans les horizons intermédiaires (40-60 cm). Les teneurs sont faibles en surface, moyennes à fortes en profondeur (10-15%, parfois jusqu'à 50%), faibles à nulles en se rapprochant de la nappe. Ces poches de CO_3Ca sont de couleur gris-clair et se transforment en une fine poudre à la pression de la main.

Les résultats obtenus dans le polder de Bol Guini montrent une très grande hétérogénéité de répartition du CO_3Ca sur le terrain. Ces accumulations importantes s'observent en des points très localisés.

Dans les ouadis de l'intérieur des terres (région de Mao), les plus fortes accumulations de CO_3Ca (20-30, parfois 60% en surface) sont notées dans les sols qui présentent en même temps les plus grandes quantités de sels solubles (conductivité 10 à 30 millimhos). Ceux-ci se situent dans les parties les plus basses. Autour, s'observent en auréoles, au contact de la dune, des sols de couleur blanche tendant à former des croûtes encore relativement friables, épaisses de 20 à 40 cm, qui peuvent contenir des quantités importantes de CO_3Ca (20-30%), mais sont non salées et pauvres en

matière organique. On peut voir en ces ouadis d'anciens lacs salés de faible étendue ainsi qu'il en existe encore et qui ont disparu par abaissement progressif du niveau de la nappe avec, dans un premier stade, formation de sol salé calcaire, puis dans un second à la suite de lessivage par les eaux de pluie et de ruissellement, désalinisation des bordures les plus hautes et accumulation de sels dans les points bas où le sol demeure calcaire. Les précipitations pluviométriques moyennes qui peuvent apparaître faible pour produire de tels lessivages (200 à 400 mm suivant les endroits) sont augmentées des eaux de ruissellement très importantes. Ainsi, dans le polder de Bol Guini, on a observé que la remontée du niveau de la nappe en saison des pluies était sensiblement égale au double des précipitations.

Dans ces sols à encroûtements, l'accumulation du CO_3Ca est diffuse, sans nodulations ou poches. Les plus fortes teneurs sont observées en surface ou à faible profondeur (30-40 cm), tandis qu'à plus grande profondeur CO_3Ca est faible en traces ou nul.

Ces variations de niveaux de nappe ou d'étendue d'eau de surface sont aussi visibles dans le contact actuel dépression inondée - dune. Les sables profonds de ces dernières peuvent contenir des quantités de CO_3Ca de quelques %. C'est ce que l'on perçoit également sur certaines terrasses du Bahr el Ghazal ou sur les replats de dunes à des altitudes de 287-290 m. Il s'git ici d'anciennes lignes de rivages. Il y a donc identité d'origine entre le phénomène de salinisation et le dépôt de calcaire par un mécanisme commun, à savoir évaporation d'une nappe de surface ou de faible profondeur, nappe non obligatoirement salée qui conduit à la formation de sol salé calcaire dans un premier stade, de sol calcaire dans un second après lessivage des sels dès que la nappe se sera abaissée à une profondeur convenable.

C'est ce que nous trouvons dans les ouadis du nord et de l'est du lac Tchad et également dans la vaste dépression du Borkou où les salinités sont souvent faibles et les taux de CO_3Ca non négligeables mais rarement supérieurs à 15%.

Ces phénomènes d'accumulations calcaires se produisent avec une très grande rapidité, rapidité plus grande que pour la salinisation, car ceux-ci sont pratiquement irréversibles. Les augmentations des teneurs en CO_3Ca calculées seraient les suivantes en un an pour un sol de densité apparente de 0,8 et une évapotranspiration potentielle estimée à 2300 mm dans le cas d'une nappe proche de la surface.

- Nappe de conductivité de 1 millimho contenant :
  - 4,18 me ‰ de Ca
  - 2,8 me ‰ de Na

  puits n°27, mars 1959, Bol Guini.

  Accumulation sous forme de CO_3Ca : 0,3% dans 20 cm de sol
  0,12% dans 50 cm de sol
  Accumulation sous forme de CO_3Na_2 : 0,21% dans 20 cm de sol
  0,09% dans 50 cm de sol
- Nappe de conductivité de 3,1 millimhos contenant :
  - 2,86 me ‰ de Ca
  - 30,3 me ‰ de Na

  puits n°269, mars 1959, Bol Guini.

  Accumulation sous forme de CO_3Ca : 0,20% dans 20 cm de sol
  Accumulation sous forme de CO_3Na_2 : 2,3% dans 20 cm de sol

On peut admettre d'une façon plus générale que les augmentations en CO_3Ca du sol dans le cas de nappe proche de la surface sont de l'ordre de 0,20 à 0,30% par an, si cette accumulation se fait dans les 20 premiers centimètres. Cette accumulation sera plus faible pour des nappes plus profondes, l'évapotranspiration étant alors moins importante, et se fera d'autre part à des profondeurs variables, fonction de la hauteur de la frange capillaire.

Cette augmentation des teneurs en CO_3Ca est théoriquement cumulative :

2 à 3 % en 10 ans
20 à 30 % en 100 ans

Ces chiffres représentent une accumulation diffuse de CO_3Ca, répartie uniformément dans le sol. Or nous savons que ces accumulations se font souvent en des endroits préférentiels du sol, ce qui augmente d'autant l'accumulation apparente et explique des taux importants trouvés dans le polder de Bol Guini, bien que celui-ci date d'une dizaine d'années (1). Nous ne pensons pas d'autre part que de telles accumulations puissent s'effectuer dans le lac lui-même puisqu'il n'existe aucune autre source de calcium que celle contenue dans l'eau et que la concentration en Ca de ces eaux est très faible (conductivité de 0,1 millimho). Seuls des organismes végétaux ou animaux (algues ...) pourraient alors être supposés responsables de certaines nodulations.

7.2. NODULATION CALCAIRE

Celle-ci s'observe d'une façon générale dans des sols argileux, argilo-sableux à mauvais drainage interne, tandis que ce sont des amas calcaires sans forme précise que l'on voit dans des dépôts plus sableux alors fréquemment atteints par des phénomènes d'alcalisation.

Les nodules calcaires trouvés dans les sols de la cuvette tchadienne sont de grosseur diverse allant de la taille d'un pois à la grosseur d'un poing. Ils sont de forme variable et de couleur blanc jaunâtre ou sont recouverts d'une mince pellicule rouille d'oxyde de fer (J.PIAS 1962). En coupe, ils présentent des zones concentriques de concrétionnement avec de la calcite cristallisée, des taches noirâtres et de petites concrétions de fer.

Des analyses faites, soit sur des nodules calcaires pris en sol argileux, soit sur des amas calcaires trouvés dans certains terrains sablo-argileux, montrent que les taux de CO_3Ca sont proportionnels au pourcentage d'argile de l'horizon dans lequel ils ont été prélevés.

---

(1) Ce polder a pu se trouver à sec cependant dans des périodes antérieures et très récentes à la suite de conditions climatiques plus sèches (CHUDEAU 1906)

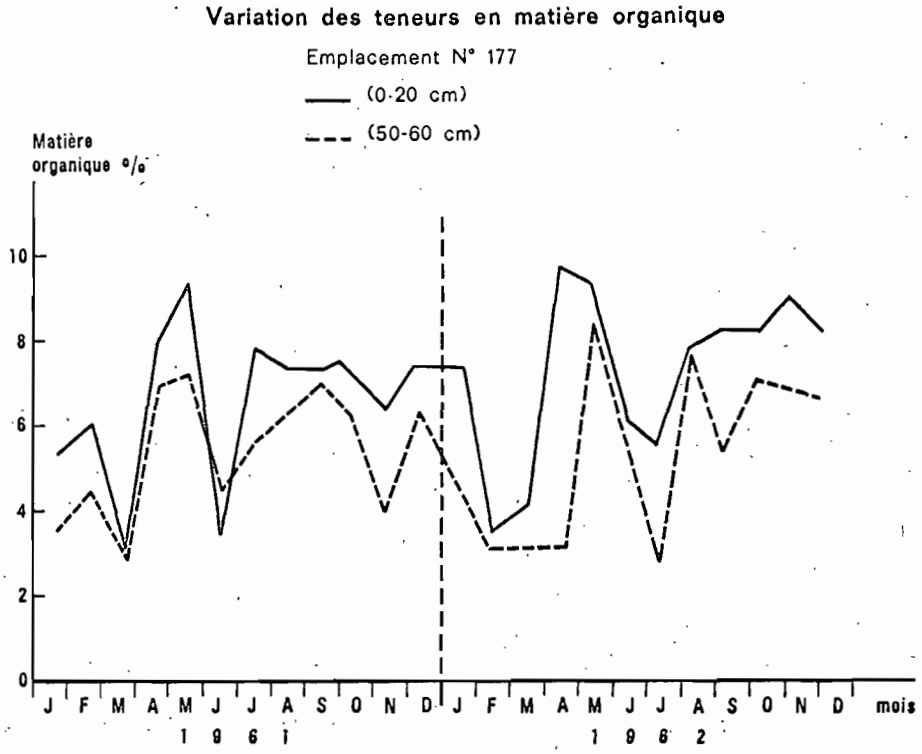


Figure 183

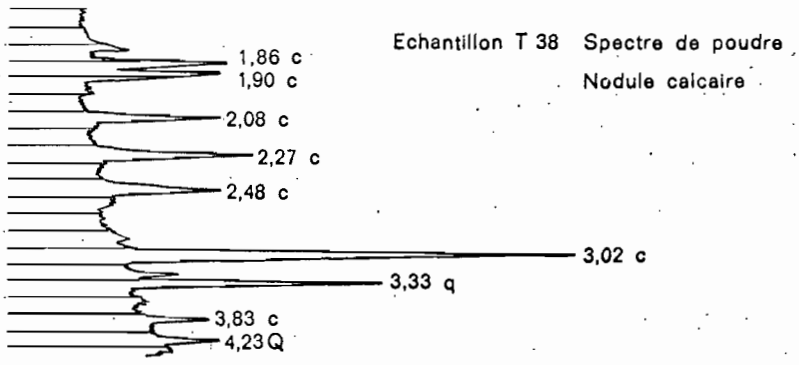


Figure 184

n°	Pourcentage de CO_3Ca du nodule calcaire	Pourcentage d'argile de l'horizon correspondant
212	84	60,6
291	76	54,5
1341	66,5	40
271	64	34,5
143	50	12,7

L'analyse d'un de ces nodules (n°1341) a donné les chiffres suivants :

CO_3Ca	66,5 %
Argile + limon	20 %
Sable fin	9,3 %
Sable grossier	4,3 %

L'analyse mécanique du résidu obtenu après destruction du CO_3Ca donne des résultats granulométriques sensiblement identiques à ceux de l'horizon dans lequel ces nodules ont été prélevés. Ceci tend à prouver leur formation en place.

Le tableau suivant met en parallèle, d'une part l'analyse mécanique du résidu (C), d'autre part celle de l'horizon de prélèvement (H).

	212		271		291		143		1341	
	H	C	H	C	H	C	H	C	H	C
Sable grossier %	2,4	2,2	6	4	2,5	2,7	9,9	27,3	13,3	12,2
Sable fin %	6,1	8,3	37,6	46,3	20	21,6	71,8	58,5	28,2	27,9
Limon %	21,2	17,5	17,6	17	13,9	18,3	4,2	5,3	18,5	59,7
Argile %	60,6	63	34,5	28,5	54,5	49	12,7	7,7	40	

L'analyse totale aux triacides de trois de ces nodules est donnée ci-dessous. On y remarquera, outre la place tenue par Ca O, celle du quartz (15 à 20%). Les teneurs en fer sont assez faibles (2 à 3%).

	T 38	T 38'	AD
CaO %	33,43	34,23	35,93
MgO %	1,33	1,44	1,23
K2O %	0,12	0,12	0,12
Na_2O %	0,45	0,39	0,37
Perte au feu %	26,90	29,15	30,85
Résidu %	20,00	14,65	13,85
SiO_2 %	6,65	9,10	8,85
Al_2O_3 %	8,80	7,15	6,25
Fe_2O_3 %	2,70	2,55	2,20
TiO_2 %	0,05	1,00	0,25
CO3 Ca %	59,7	62,6	67,6

L'étude des éléments traces révèle, comparée à celle des horizons du sol, les très fortes teneurs en Mn, Sr, les plus faibles valeurs en Cu, Ni, Ba, Li, Rb (tableau65 en annexe).

L'examen aux rayons X montre la présence dominante de calcite associée à une fraction moindre de quartz en quantité plus ou moins importante suivant les échantillons (figure 184).

Deux explications sur la manière dont se sont formés ces nodules apparaissent valables. On peut admettre qu'ils sont dus à des phénomènes de remontée du calcaire dans un sol subissant une forte insolation et dont la nappe phréatique est proche de la surface. En fait, ces phénomènes devraient être alors plus intenses dans les sols à forte remontée capillaire (sols limoneux, sablo-argileux) et ne pourraient se produire en sol argileux que le long des fentes de retrait.

H. ERHART (1945 c) pense que leur formation est due à des phénomènes de concentration des solutions du sol sous l'influence des racines de végétaux (actuels ou disparus), lesquels agissant comme des pompes aspirantes en saison sèche, concentrent les solutions du sol à la pointe des racines absorbantes.

Il semble, en fait, que ces deux phénomènes (remontée des solutions du sol vers la surface sous l'action de la chaleur ou sous celle des racines des végétaux) peuvent jouer leur rôle dans la formation des nodules ou masses calcaires.

En sol sablo-argileux, fréquemment dans les sols halomorphes, de fins canalicules calcaires s'observent le long des racines. Nous n'avons pas observé ce phénomène dans les sols argileux où le calcaire se présente alors sous forme de nodules. Des sols très jeunes commencent à subir des débuts de concrétionnement. On y trouve fréquemment de petits nodules très friables de la grosseur d'une tête d'épingle, mais ceux-ci n'ont pas de liaison apparente avec les racines des graminées. On y observe aussi des amas informes micalcaires, mi-terreux pouvant atteindre la grosseur d'un poing et non consolidés.

Les solutions du sol susceptibles de migrer par remontée sont ici observées sous forme de carbonate, bicarbonate et sulfate. Les eaux de la nappe phréatique sont bien pourvues en divers cations dont Ca.

Certains auteurs ont signalé des fortes concentrations du sol en CO_2 en saison pluvieuse. Celui-ci faciliterait la mise en solution du carbonate et sa migration vers des points préférentiels pouvant présenter un déficit de saturation en eau par rapport aux endroits immédiatement voisins. Ces concentrations pourraient s'opérer en début de saison des pluies pendant la période où le sol non encore gorgé d'eau présente des variations importantes d'humidité d'un point à un autre (humidités très élevées le long des fentes de retrait , très faibles au centre des éléments structuraux d'un système prismatique grossier).

La concentration du sol en CO_2 est liée aux phénomènes de réduction du fer qui se traduisent par la combustion de matières carbonées. Elles sont donc particulièrement importantes dans tous les sols mal drainés.

L'origine du Ca peut être multiple : eaux de nappe, d'inondation mais aussi elle peut provenir de phénomènes de remplacement qui s'opèrent sur le complexe absorbant qui fixe préférentiellement Na, libérant les ions Ca qui précipitent sous forme de CO_3Ca en se combinant au CO_2 dégagé lors du processus de réduction du fer.

CONCLUSIONS.

La carbonatation est un processus qui joue dès que des données particulières se trouvent réunies (mauvais drainage interne d'un milieu associé à des conditions climatiques favorisant des évaporations intenses d'eaux très minéralisées ou non). Ce processus peut avoir commencé très anciennement et se poursuivre de nos jours (nodulation dans la série fluvio-lacustre argilo-sableuse) ou bien être relativement récent et très développé (encroûtement d'ouadis sur le pourtour du lac Tchad actuel) ou peu développé (nodulation dans la série lacustre récente), ou bien encore être relativement ancien et avoir été stoppé par suite de nouvelles conditions climatiques arides (dépôts diatomitiques lacustres du Borkou).

V - HISTOIRE GEOLOGIQUE

ESSAIS DE CHRONOLOGIE ET DE CORRELATION

CYCLE SEDIMENTAIRE ET PEDOGENESE

ESSAIS DE DATATIONS

CONCLUSIONS

1. HISTOIRE GEOLOGIQUE

L'histoire géologique récente de la cuvette tchadienne est avant tout celle du lac Tchad. Des avancées lacustres suivies de régressions font penser à des alternances climatiques que l'on serait tenté de paralléliser avec les glaciations du Quaternaire.

Deux thèses ici s'affrontent, suivant les auteurs.

Certains pensent que les glaciations européennes se seraient traduites en Afrique par des périodes de fortes pluviométries marquées par des avancées des lacs, tandis que les périodes interglaciaires auraient donné lieu à des climats très secs (assèchement des lacs, remaniements éoliens des séries sableuses fluviatiles).

D'autres (BALOUT 1952 - TRICART 1956-1963 ...), au contraire, admettent que les glaciations ont amené un abaissement de la température de l'ensemble des mers et de leurs niveaux se traduisant, dans ces régions d'Afrique, par une évaporation moindre des océans et des précipitations relativement faibles en milieu continental. En période interglaciaire, à l'inverse, la température des eaux marines, les hauts niveaux des mers, auraient favorisé une évaporation intense qui se serait accompagnée de précipitations abondantes. Le climat tropical humide serait remonté alors très haut vers le Nord, tandis que les zones climatiques semi-désertiques s'amenuisaient.

Nous aurons l'occasion d'évoquer à nouveau ce sujet au cours de ce chapitre.

1.1. LES SYSTEMES DUNAIRES (figure 185)

Quatre phases d'éolisation sont actuellement visibles au Tchad. Nous les donnerons par ordre chronologique sans reparler ici des vieilles formations gréseuses d'âge plus ou moins déterminé qui ont subi des remaniements éoliens anciens certains.

1.1.1. Le système dunaire du Sud (1er erg)

Il est principalement visible entre les 10 et 11ème parallèles au Cameroun. On le retrouve à des latitudes plus septentrionales comme au SW de

Fort-Lamy où certains alignements sableux présentent bien l'orientation caractéristique. Ces latitudes correspondent à celles où il est représenté en Nigéria (GROVE 1958).

Il s'agit d'un ensemble de dunes longitudinales NE-SW de 5 à 10 m de haut, longues de 20 à 40 km dans le Sud, qui se terminent parfois par un système de dunes transverses perpendiculaires aux premières, mais celles-ci sont alors peu marquées. Ces dunes se sont formées dans la série moyenne du Continental Terminal (sables rouges) ou dans les formations anciennes remaniées. Elles sont aujourd'hui fixées par une végétation arborée ou arbustive qui contribue au maintien de cet ancien relief. Des incursions lacustres ont amené dans les interdunes le dépôt de sédiments argilo-sableux, sablo-argileux à nodules calcaires.

1.1.2. Le système dunaire au nord du 12ème parallèle (2ème erg)

Il est constitué de dunes transverses formant d'importantes ondulations de 20 à 40 m de haut, orientées NW-SE.

Les marques de cette éolisation sont maxima sur le pourtour immédiat du lac, tandis qu'elles perdent de leur importance vers le Sud et dans l'Est.

Cette éolisation est visible sur le terrain jusqu'au 11ème parallèle sous forme d'ondulations de faible amplitude orientées NS. Plus au Sud, elles disparaissent, sans doute arasées par de forts courants d'eau plus récents. Les rides de ce système dunaire se poursuivent également sous le lac actuel (A.BOUCHARDEAU, R. LEFEVRE 1957), tandis que le mouvement s'atténue progressivement vers le Sud-Ouest, montrant ainsi l'existence d'un système sinusoïdal amorti.

Ce système dunaire est donc assez récent, puisque dans le lac lui-même l'ennoiement par les argiles des interdunes ou des dunes est seulement de quelques mètres (9 m au maximum dans les cas cités par les auteurs).(1)

Ces dunes se sont constituées aux dépens des formations anciennes remaniées et ont été diversement submergées lors d'une transgression lacustre ainsi qu'en attestent des dépôts coquilliers trouvés sur leurs versants. Elles sont aujourd'hui fixées par une végétation de pseudo-steppe au Nord, de savane arbustive au Sud.

1.1.3. Le système dunaire du lac Fitri. Les accolements sableux aux massifs de l'Est (3ème erg)

Sur les bordures sud et sud-ouest du lac Fitri, des alignements...

(1) Il pourrait exister un rapport étroit entre le premier système dunaire et le second, malgré les orientations différentes. Tous deux se sont peut-être constitués au cours d'un même aride. Le premier tout à son début (dunes longitudinales), tandis que d'importantes parties restaient submergées, le second vers la fin de ce dernier, le lac ayant alors disparu et le régime des vents s'étant fortement atténué (dunes transverses)

sableux relativement modestes, 3 à 5 m de haut et longs de quelques kilomètres seulement, constituent un système dunaire moins étendu que les précédents. Il s'agit de dunes longitudinales orientées NE-SW relativement jeunes puisque leur matériau d'origine est celui de la série sableuse récente. Elles sont recouvertes par la pseudo-steppe ou une savane arbustive claire.

L'équivalent de ce système se perçoit également au nord du lac Tchad où il se superpose à celui précédemment décrit. Ces dunes longitudinales ne peuvent être confondues ici avec celles du second erg, beaucoup plus importantes.

Des accolements sableux éoliens existent autour de pointements du socle dans le massif du Ouaddaï. Ils se sont constitués à partir des sables éolisés prélevés aux formations anciennes remaniées mais à l'inverse de ces dernières, présentent comme la série sableuse récente d'importantes quantités de hornblende parmi les minéraux lourds, ce qui les différencie bien des formations du 2ème erg.

1.1.4. Système dunaire actuel (erg actuel)

De nos jours, l'éolisation ne commence à se manisfester réellement qu'au nord du 16ème parallèle, soit sous forme d'ergs vifs (erg du Djourab), soit en multiples barkhanes qui se déplacent sur un substratum diatomitique.

1.2. LES CORDONS SABLEUX

Ils sont également une manifestation de l'action éolienne, mais en période humide, puisqu'ils ceinturent des lacs relativement plus étendus que l'actuel. Leur formation nécessite en même temps le maintien de ces lacs à des niveaux assez constants pendant des périodes assez longues.

Nous avons signalé deux de ces cordons sableux à des cotes très différentes (PIAS-GUICHARD 1957) :

- le cordon Sud Bongor - Koro Toro, cote 310-320 m (1)
- le cordon Nord, cote 287-290 m (2)

Le lac Tchad est à l'actuelle cote de 282-283 m, et aucun cordon sableux ne semble marquer son rivage.

Deux autres transgressions plus anciennes n'ont laissé aucune trace semblable, mais ont pu être identifiées par leurs dépôts ou des formations deltaïques

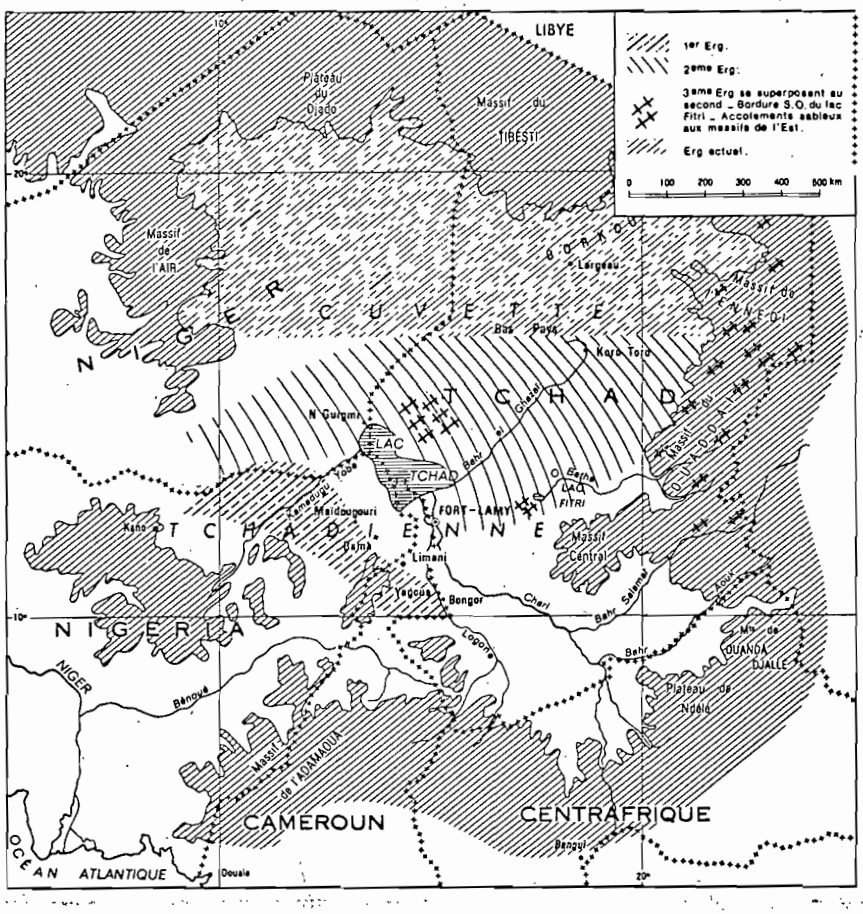
---

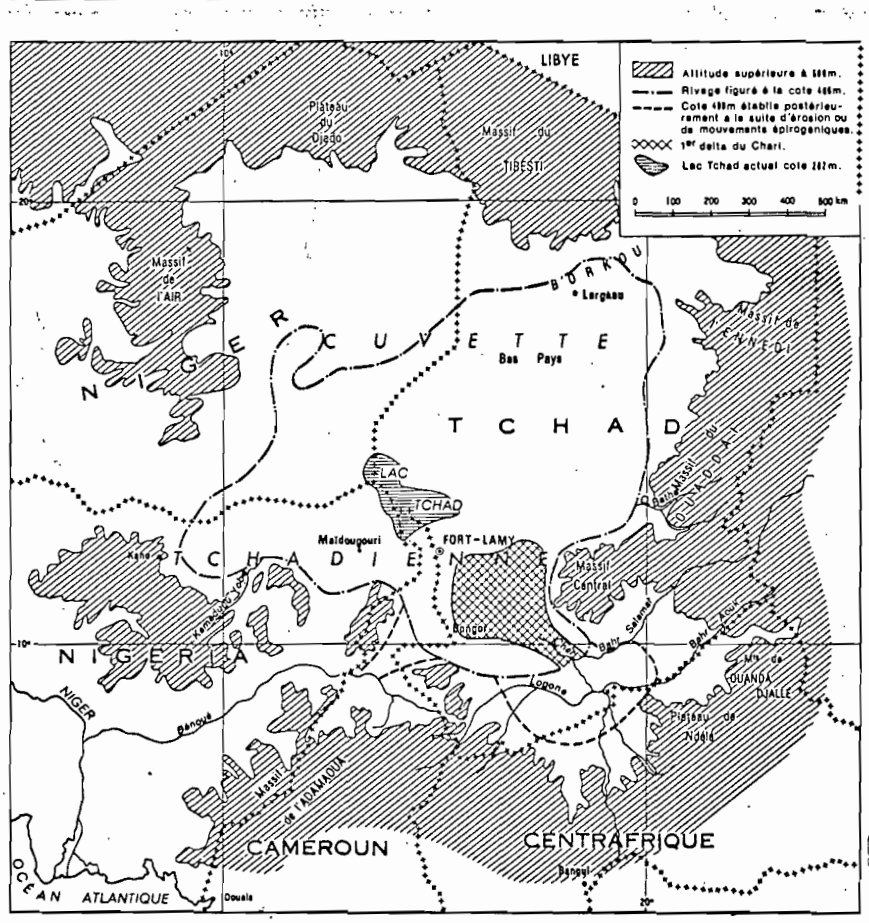
(1) On le retrouve en Nigéria où il porte le nom de Bama ridge, au Niger (cordon de Tal) et au Cameroun (cordon Yagoua-Limani).

(2) Retrouvé de la même façon au Cameroun, en Nigéria, au Niger

les ergs successifs

Figure 185





1ère et 2ème transgressions

Figure 186

1.3. LES DELTAS ANCIENS DU CHARI

Trois deltas successifs et anciens du Chari au Quaternaire se perçoivent au Tchad (PIAS 1967 a, b, c).

Le plus important de ceux-ci couvre environ 40 000 km^2 dans le triangle Bongor, Bokoro, Miltou. Il est essentiellement constitué par des sables quartzeux où prédominent les éléments subanguleux. Ceux-ci tirent leur origine des formations continentales terminales. Il y a assez peu d'éléments éolisés parmi les sables, bien que l'ensemble de la formation sableuse ait subi un remaniement éolien qui s'est traduit par l'apparition d'alignements de dunes orientées NS, contemporaines de l'erg bordant le lac Tchad à l'Est et au Nord (2ème erg). Les dunes de ce remaniement ont été par la suite partiellement détruites par d'importants courants qui, localement, ont arasé cette formation. La pointe sud de ce delta se localise vers Miltou (altitude 350 m); en fait, l'embouchure du Chari dans le lac devait se situer plus en amont entre Korbol et Fort-Archambault. La cote atteinte alors par le lac devait osciller autour de 380 à 400 m et celui-ci couvrait une superficie de 850 000 km^2 (fig.186).

Le 2ème delta moins important occupe une position plus septentrionale et couvre un triangle de 20 000 km^2 s'étendant de Dourbali (est de Fort-Lamy) au lac Tchad actuel au nord-ouest et Am Djéména au nord-est. Le rivage de ce 2ème lac est constitué par un cordon sableux qui s'étire au Cameroun et au Tchad sur plus de 1 000 km de Linani à Koro-Toro à la cote 320 m.

Le débouché du Chari sur le lac est marqué à l'est de Fort-Lamy par des alignements sableux distribués en éventail. Ce lac avait au maximum de la transgression une superficie de 350 000 km^2 environ (fig.187).

Le 3ème delta du Chari avait sa pointe sud à la hauteur de Fort-Lamy et constituait un triangle situé principalement au Cameroun. D'une superficie de 5 000 km^2 environ, ce 3ème delta est marqué par de multiples voies d'eau (El Béid, Serbéwel ...) qui sont accompagnées de bourrelets à texture fine. Ceux-ci découpent une ancienne étendue lacustre argileuse. Le Chari de cette époque se jetait dans un lac plus modeste dont la cote se situait aux environs de 287-290 m. Ce lac avait alors une superficie moindre (180 000 km^2 environ). Il était ceinturé par un cordon sableux dont on retrouve les vestiges au Tchad, au Cameroun, au Nigéria, au Niger (fig.188).

Le 4ème et actuel delta commence à Djimtilo tandis que le 3ème est encore partiellement fonctionnel par les cours de l'El Béid et du Serbéwel. Le lac Tchad actuel qui se situe à la cote 282-283 m couvre une superficie de 25 000 km^2.

Ces 3 deltas d'inégale importance peuvent être interprétés comme la conséquence de périodes pluviales plus ou moins fortes. L'étendue plus modeste du second delta par rapport au premier s'explique par le fait que le Chari recevait tout d'abord les eaux de la Pendé (Logone oriental) et celles du Logone occidental par la dépression du Mandoul (BOUTEYRE - CABOT - DRESCH 1964) et que c'est au début du second pluvial que se serait ouverte au travers des Koros au sud de Laï la vallée actuelle de ces deux rivières réunies. Cette perte de débit n'explique sans doute que partiellement la plus faible importance du second delta.

Le 3ème delta qui est le delta commun du Chari et du Logone, est plus modeste mais une grande partie des eaux du Logone, une plus faible partie de celles du Chari allaient déjà se perdre comme aujourd'hui dans d'importantes plaines d'inondation.

1.4. MOUVEMENTS TECTONIQUES ET SUBSIDENCE

Des mouvements tectoniques (subsidence de la cuvette, surrection des massifs de bordure) vont également intervenir dans l'histoire géologique. Ils ont affecté l'ensemble de la fosse tchadienne au Tertiaire et au Quaternaire et sont à l'origine de dépôts fluviatiles apportés par les fleuves, cours d'eau secondaires, défluents à la recherche de nouveaux profils d'équilibre par suite d'abaissement du niveau de base, en même temps qu'ils expliquent les décrochements de niveaux de cuirasses ferrugineuses, l'ablation de séries anciennes dans l'arrière-pays ...

1.5. LES TRANSGRESSIONS LACUSTRES

Plusieurs transgressions importantes sont visibles :

1.5.1. Premières transgressions. Dépôt des sédiments continentaux terminaux. Les différentes surfaces : bauxitique, ferrallitique et cuirassée. Dépôt de la série ancienne remaniée. 1er erg fossile.

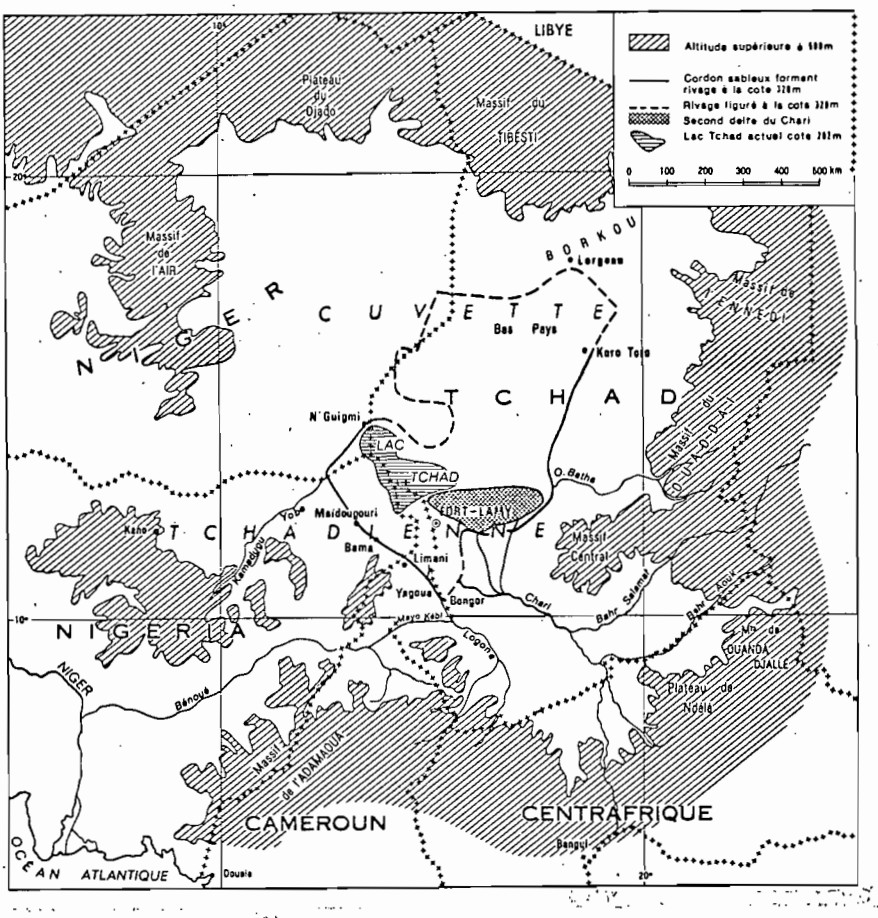
1.5.1.1. Dépôt des sédiments continentaux terminaux

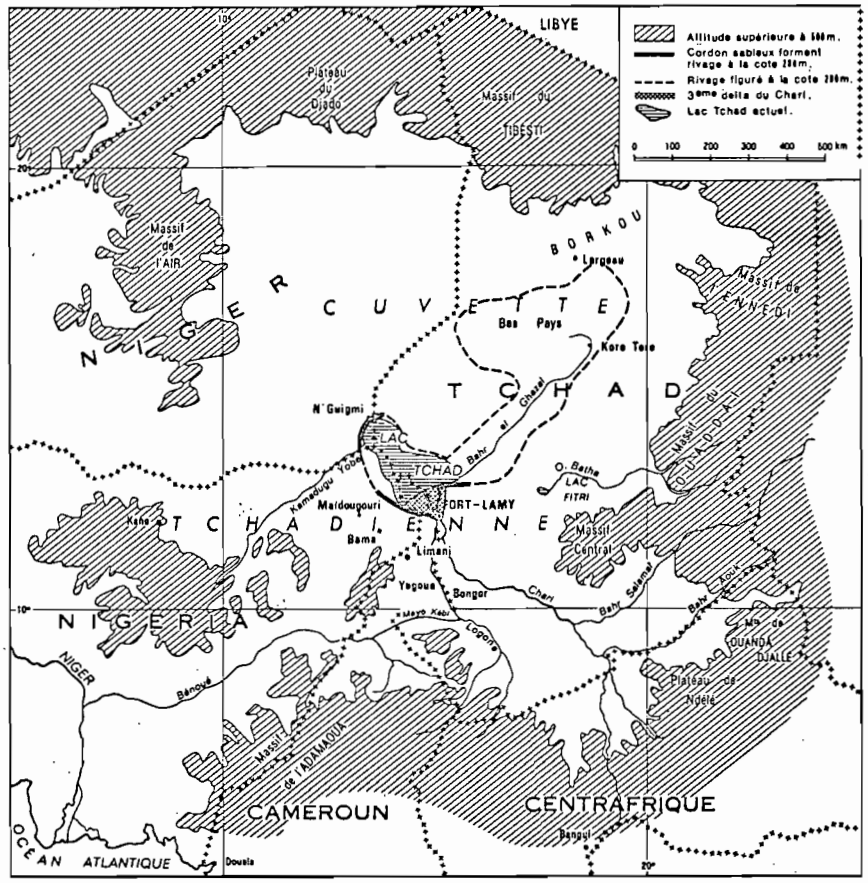
Les premières transgressions, les plus anciennes et semble-t-il les plus importantes bien qu'elles soient très imprécises, datent du Tertiaire. Les dépôts qui en sont résultés reposent en discordance sur des formations cénomano-turoniennes dans le sud (Pala), tandis que dans le nord, au Niger ou en Nigéria, ils se situent au-dessus de l'Eocène moyen et peuvent donc appartenir à l'Eocène supérieur, à l'Oligocène et peut-être au Miocène.

Au Tchad, les vestiges de ces formations sont observées sur le pourtour du massif de l'Ennedi et du Tibesti, tandis que des buttes témoins éparses montrent leur existence dans l'intérieur même du massif du Ouaddaï. Dans le sud, ces formations se retrouvent de façon continue au sud d'une ligne passant par Gounou-Gaya, Kélo, Guidari, Goundi, Kyabé et allaient s'appuyer sur les contreforts de l'Adamaoua dans la région de Baïbokoum.

3ème transgression

Figure 187





4ème transgression

Figure 188

Elles sont également signalées au Niger oriental (Agadem, Termit), où elles devaient occuper une partie de l'actuel Sahara, ainsi qu'en Nigéria.

Plusieurs centaines de mètres (1) de sédiments ont été ainsi déposés dans cette cuvette où les alternances de grès et sables diversement grossiers intercalés de bancs d'argilites plus ou moins épais font penser à plusieurs cycles de sédimentation et à une origine fluvio-lacustre des dépôts.

Les formations continentales encore appelées séries paléotchadiennes apparaissent donc comme résultant de phases érosives se produisant sur les massifs du pourtour, consécutives à des mouvements de surrection de ceux-ci accompagnés de subsidence de la cuvette tchadienne.

1.5.1.2. Les différentes surfaces : bauxitique, ferrallitique, cuirassée

Ces formations ont subi après leur dépôt plusieurs pédogenèses en même temps qu'allaient se produire de nouveaux mouvements tectoniques qui devaient conduire à l'ablation des sols formés ou à leur rajeunissement. Plusieurs de ces surfaces anciennes sont ainsi visibles dans la partie méridionale de la cuvette.

a. La surface bauxitique résiduelle de Koro

Un premier équilibre semble avoir été atteint après le dépôt de la série paléotchadienne supérieure constituée principalement par des argilites. Sous un climat de type tropical très humide, s'effectue une pédogenèse accusée dont résulte une première surface qui se manifeste au site de Koro. Cette phase d'équilibre paraît avoir été assez longue ou les conditions climatiques particulièrement accusées si l'on considère uniquement les produits d'altération où dominent les hydroxydes d'alumine (gibbsite dominante et boehmite 85%, kaolinite 5%, Fe_2O_3 3% ...).

b. La première surface ferrallitique

Une nouvelle tectonique de surrection des massifs et de subsidence de la cuvette conduit ensuite, par des mouvements de flexure, à l'ablation des sédiments et des sols des séries paléotchadiennes supérieure et moyenne dans l'arrière-pays au contact des contreforts de l'Adamaoua, de la série supérieure plus au nord tandis que les sédiments ainsi enlevés venaient combler la partie centrale de la cuvette en subsidence très marquée. On peut

(1) MERMILLOD (1961b) évalue à 700 m l'épaisseur du Continental Terminal dans la fosse de Doba; mais il est vrai que dans cette dernière les sondages électriques ont signalé le socle seulement à 3500 m. BARBER-JONES (1960) signalent de même, dans la coupe d'un sondage de 1000 m opéré en Nigéria, 600 m de Continental Terminal, 400 m de marnes fossilifères Crétacé Supérieur.

estimer à une centaine de mètres l'épaisseur des sédiments ainsi enlevés en tablant sur ce que nous voyons à Koro.

A la fin de cette période, nous tendons vers la constitution d'une nouvelle surface au cours de laquelle les cours d'eau, ayant atteint leur profil d'équilibre, se produisent sous climat tropical humide ou semi-humide dans les sols des phénomènes généralisés de ségrégation du fer. Ceux-ci aboutissent à la formation de cuirasses ferrugineuses ou d'horizons gravillonnaires par suite d'action de nappe dans les sols ferrallitiques qui se forment à cette époque. Ces vastes surfaces plus ou moins bien drainées dont les cours d'eau ont atteint leur profil d'équilibre évoquent une importante étendue lacustre constituant le niveau de base.

Des buttes témoins résiduelles qui s'observent de nos jours autour des pointements du socle jusqu'au 12ème parallèle sont sans doute les vestiges de cette première surface. Elles sont constituées par des sols rouges très épais (8-10 m et plus) à kaolinite dominante et un peu d'illite, riches en goethite et hématite (10 à 12% de la fraction colloïdale inférieure à 2 μ). Les minéraux lourds sont essentiellement constitués par du zircon (70 à 95 %). En profondeur s'observe un horizon bariolé qui évoque des phénomènes anciens d'hydromorphie et parfois un niveau concrétionné.

c. La surface cuirassée générale

De nouveaux mouvements tectoniques ou épirogéniques accompagnés d'un abaissement du niveau de base amènent la destruction presque totale de la surface précédente.

Deux hypothèses peuvent être envisagées :

l'arasion de cette surface va se faire jusqu'au point de résistance que va constituer l'horizon cuirassé ou gravillonnaire des sols précédents. La surface cuirassée qui se créait à cette époque malgré les déformations importantes qu'elle a pu subir ultérieurement se retrouve à des altitudes relativement constantes (420-500 m). Les produits détritiques des horizons supérieurs vont combler la cuvette;
il y a eu pénéplaination en liaison avec le nouveau niveau de base créé, érosion de la surface précédente dont les produits les plus fins sont entraînés dans la cuvette tandis que les plus grossiers, notamment les plus riches en sesquioxydes, demeurent en place et participent à la formation de la cuirasse ferrugineuse par recimentation. Cette cuirasse ferrugineuse vacuolaire, relativement homogène, est le plus souvent, épaisse de 2 à 3 m, parfois 4 à 5 m et repose très fréquemment sur le même horizon bariolé que celui observé en profondeur dans les sols ferrallitiques. Elle est à kaolinite (30 à 35%), hydroxydes de fer (30 à 40%) et quartz (30%) mais contient cependant parfois des quantités non négligeables de gibbsite (10%).

La surface cuirassée présente des témoins encore relativement abondants jusqu'au 16è parallèle dans le voisinage des massifs du Ouaddaï. Elle est particulièrement bien représentée sur tout le pourtour du massif central tchadien.

Elle a subi des déformations après sa mise en place. C'est ainsi que dans la partie est de ce massif, elle descend progressivement vers la dépression des bahrs Aouk, Salamat, Keïta, par une succession de paliers semblables aux marches d'un immense escalier. Dans le sud (région nord de Baibokoum), elle couronne des formations de grès ou d'argilite qui surplombent la surface actuelle de plusieurs dizaines de mètres. Elle évoque là, du fait de son morcellement et de son altitude plus élevée, des cuirasses de talwegs qui se raccordaient à la surface cuirassée générale et qui ont été mises en position haute par suite d'inversion de relief, consécutivement à des déformations et à des phénomènes d'érosion.

L'âge de cette surface cuirassée est généralement datée en d'autres pays d'Afrique comme fin Tertiaire, début Quaternaire.

d. La deuxième surface ferrallitique

Elle s'observe dans la partie la plus méridionale du Tchad, au sud du 9è parallèle. On la voit actuellement dans les parties les plus arrosées du Tchad (pluviométrie 1000 à 1300 mm).

Il s'agit, ici encore, de sols rouges argilo-sableux, très profonds (10 m et plus) qui présentent en profondeur le niveau bariolé de couleur saumon, jaunâtre, jaune ocre pâle, à traînées blanches et pisolithes brun-rouille se prenant parfois en masse pour donner une cuirasse assez peu consolidée. Le niveau bariolé précédent se poursuit en dessous de celle-ci sur plusieurs mètres.

Dans ce sol, la kaolinite est dominante, associée aux hydroxydes de fer. La fraction sableuse est importante. Les minéraux lourds sont principalement ici : zircon, rutile, tourmaline, avec une proportion plus ou moins importante de staurotide, disthène et parfois zoïsite. Ce sont des minéraux identiques que l'on retrouve dans les roches mères (grès, arkoses, grès-argileux).

Cette 2ème surface ferrallitique se confond avec la surface actuelle dans le sud du Tchad. Son âge est inconnu. Elle paraît avoir subi des rajeunissements successifs consécutifs aux alternances pluvial-aride du Quaternaire récent. La grande épaisseur de l'altération, une dizaine de mètres et plus, laisse supposer une longue pédogenèse si l'on retient les chiffres avancés par G.AUBERT, N.LENEUF (1960).

1.5.1.3. Dépôt des formations anciennes remaniées. Lac à la cote 380-400 m. 1er delta du Chari. 1er erg fossile

Les mouvements de subsidence de la cuvette, ceux de surrection des massifs conduisent donc à la fin de cette période (fin Tertiaire - Quaternaire ancien à moyen) :

- dans la partie sud du Tchad :
  - . à la dislocation des formations continentales terminales et à leur ablation partielle;
    - .. ablation des séries supérieure et moyenne (sud du Tchad -

région de Baibokoum Doba);

.. ablation de la série supérieure (région Moundou - Kélo).

Ce sont ces différentes séries érodées et les sols successifs qui s'y étaient formés qui vont constituer les formations anciennes remaniées déposées plus en aval. Elles forment le premier delta d'un Chari ancien (triangle Miltou - Bongor - Bokoro) qui se jetait dans un lac oscillant autour de la cote 380-400 m et qui couvrait 850 000 km^2 environ (fig. 186);

- dans la partie nord du territoire :

  . à la dislocation et l'ablation partielle ou totale des séries continentales terminales, crétacé et paléozoïques, ceci principalement dans le massif du Ouaddaï. Les sédiments ainsi arrachés aux vieilles formations gréseuses constituent la série ancienne remaniée de cette région et se sont déposés dans le même milieu lacustre que les sédiments du 1er delta.

A la fin de cette période climatique humide, succède une première période aride marquée :

- par un assèchement partiel des étendues lacustres. Celles-ci s'amenuisent progressivement, laissant des lacs résiduels disséminés dans l'intérieur des terres. La zone deltaïque du Chari, la région au nord du 13è parallèle jusqu'aux massifs du Ouaddaï, de l'Ennedi et du Tibesti, pouvaient être encore submergées partiellement;

- par un régime de vents intenses qui vont permettre en l'absence de couvert végétal le remaniement éolien des séries sableuses alors exondées (série paléotchadienne moyenne : sable rouge des régions de Yagoua-Kalfou- série ancienne remaniée de la bordure des Monts Mandara au Cameroun) et la formation de dunes longitudinales SW - NE (1er erg).

1.5.2. Deuxième transgression: dépôts fluvio-lacustres de la série argilo-sableuse à nodules calcaires et de celle des regs. Formation d'un second erg fossile.

La seconde transgression est marquée par la présence de la série argilo-sableuse à nodules calcaires et de celle des "regs". Cette sédimentation qui peut prendre localement des faciès plus sableux ou plus argileux, semble le résultat d'une avancée lacustre ou tout au moins d'une phase marécageuse au cours de laquelle de puissants cours d'eau déposaient des sédiments sableux assez grossiers tirant leur origine des formations sédimentaires anciennes et des massifs dans des cuvettes inondées temporairement ou en permanence. Cette reprise de l'érosion paraît s'être produite au cours d'un pluvial, au début duquel auraient pu se poursuivre les mouvements tectoniques (enfoncement de la cuvette, surrection des massifs). De tels mouvements ne sont pas là absolument nécessaires si l'on songe que la phase aride qui a précédé ce nouveau pluvial avait amené un abaissement très sensible du niveau de base qui a favorisé la reprise de l'érosion sur le relief avant que ne soit établi un nouvel équilibre.

A cette époque, la cuvette tchadienne semble donc avoir été recouverte par un très vaste lac, ou plutôt transformée en d'immenses marécages, puisque cette série se retrouve à des altitudes élevées (350-400 m dans le bassin du Logone, sud de Laï - 400-420 m dans les bassins des bahrs Salamat, Aouk et Keïta). Autour du massif central tchadien, la série argilo-sableuse à nodules calcaires s'observe sensiblement à la même altitude que les cuirasses ferrugineuses (420-450 m). L'altitude est identique pour la série des "regs" de piedmont du Ouaddaï.

Les différences altimétriques constatées peuvent, par ailleurs, fort bien provenir de mouvements épirogéniques locaux ayant pu se produire ultérieurement ou être le fait de la subsidence.

Les fleuves de cette époque débouchaient au Sud dans le lac, le long du tracé suivant : Fort-Archambault, Guidari, sud de Laï, Gounou-Gaya, Yagoua.

Dans l'Est, sur le pourtour du massif central tchadien et le nord du Tchad, les cours d'eau, après des parcours très réduits, venaient se terminer dans le lac ou les étendues marécageuses bordant directement les massifs (Bahr Azoum, Batha, Bitéa, Enné, ...) ou bien il n'existait encore aucun réseau organisé et l'écoulement se faisait alors par les ravines d'un ruissellement érosif intense.

C'est à cette époque que s'est effectuée l'ouverture du chenal conduisant les eaux de la cuvette tchadienne vers la Bénoué par l'intermédiaire du sillon des lacs de Fianga - Tiken - Toubouris. Cette ouverture semble s'être faite par étapes successives si l'on en croit les marques laissées par des niveaux lacustres à différentes altitudes au Cameroun dans la région Yagoua-Kalfou (SIEFFERMANN 1967). De la même façon, BOCQUIER-GAVAUD (1964), PIRARD (1964) signalent au Niger des régressions successives marquées notamment par des paliers aux cotes 370 m, 350 m, 345 m. C'est peut-être dans ces régressions liées sans doute à l'ouverture du seuil séparant la cuvette tchadienne du bassin de la Bénoué qu'il faut chercher l'origine des dépôts relativement grossiers de cette seconde transgression effectuée lors d'une période pluviale importante.

A la suite d'une nouvelle période aride, les parties immergées vont s'assécher ensuite progressivement permettant le remaniement éolien des formations sableuses anciennes nord et est du Tchad qui donnera le second erg dont les alignements NW-SE et NS se perçoivent encore de nos jours jusqu'au 12è parallèle.

1.5.3. Troisième transgression

1.5.3.1. Premier tracé du réseau hydrographique actuel. Dépôt de la série sableuse récente

A la suite d'un troisième pluvial, un nouveau lac va occuper la cuvette.

- Sud du Tchad

Au début de cette période, d'importants cours d'eau viennent mettre en place, dans la partie sud de la cuvette (bassin du moyen Logone entre Laï et Bongor, bassin des bahrs Salamat, Keïta et Aouk), la série sableuse récente, tandis que s'ébauchent les premiers tracés de l'actuel réseau hydrographique : premier tracé du Logone en aval de Laï, du Chari en aval de Miltou. Les fleuves ou leurs affluents dans cette partie de leurs cours, donnent naissance à de véritables cônes de déjections qui épandent un cailloutis superficiel et constituent des alignements sableux orientés NS au nord de Laï (1), SN ou NE-SW dans la vaste dépression du sud d'Am Timan, EW sur la rive gauche du Chari à la hauteur de Miltou. Ces alignements sableux sont les bourrelets de cours d'eau qui coulent alors dans la série argilo-sableuse à nodules calcaires plus ou moins profondément entaillés.

Dans un second stade, le réseau hydrographique s'organise. Les cours actuels du Logone et du Chari commencent à se dessiner. Ce dernier se scinde en de multiples bras à la hauteur de Miltou et donne naissance à de nombreuses voies d'eau : Batha de Laïri, Bahr Erguig ... qui recoupent le premier delta.

- Est du Tchad

Dans l'est du Tchad, au nord du 13è parallèle en climat certainement moins humide, aux pieds des massifs, se constituent tout d'abord des lacs occupant des fosses de piedmont (fosses d'Am-Dam et de Mangalmé, fosse ouest de Biltine, fosse nord-ouest d'Arada ...). En effet, dans un premier stade, les formations sableuses anciennes remaniées lors de la période aride précédente forment un écran homogène et continu à l'ouest des massifs qui rend tout écoulement difficile. Dans un second stade, les masses d'eau ainsi retenues, peut-être aidées par des mouvements de subsidence, finissent par créer des trouées dans les ensembles sableux de l'ouest. Le percement des seuils sableux amena le déferlement des eaux des lacs de piedmont vers l'ouest (2). Il eut pour conséquence un abaissement du niveau de base et une reprise de l'érosion dans l'arrière-pays. Celle-ci entraîne :

- dans l'intérieur des massifs, l'ablation des vieilles formations sableuses et des sols formés sur granites, gneiss, grès;
- dans les plaines de piedmont, l'arasion ou l'ablation superficielle des formations anciennes remaniées, le dépôt du cailloutis quartzeux sur les "regs" et celui de la série sableuse récente.

Le déferlement des eaux des lacs de piedmont après le percement des seuils explique : les longs couloirs de sable qui prolongent chacun des cours

(1) C'est à cette époque que la Pendé et le Logone occidental empruntent leur nouveau cours à travers les "koros" et vont se jeter dans la dépression au sud de Laï.

(2) Des lacs analogues se sont ainsi constitués en cours de pluvial dans des conditions similaires dans d'autres parties d'Afrique, en Mauritanie notamment entre l'Adrar mauritanien et l'erg du Makteïr (DAVEAU - MOUSINHO - TOUPET 1967)

d'eau vers l'Ouest, la disparition partielle de la série sableuse ancienne dans certaines régions où celle-ci est fragmentée en multiples buttes témoins au milieu de dépressions non moins multiples. De cette époque date la mise en place du réseau hydrographique que l'on perçoit de nos jours (PIAS 1960 a).

1.5.3.2. Formation du cordon sableux de la cote 320 m - Dépôt de la série lacustre récente - Second delta du Chari

C'est à cette époque que se forme le cordon sableux Bongor, Dourbali, Nord-Massénya, Est-Bokoro, Ouest-Ati Koro-Toro et qui se poursuit au Cameroun de Yagoua à Limani, en Nigéria, au Niger.

Il donne la limite d'extension d'une troisième fosse tchadienne également marquée par le dépôt de la série lacustre récente.

Ce cordon sableux apparaît comme un remaniement local sous l'action des vents au maximum du pluvial des formations sableuses qui ceinturaient le lac à une altitude moyenne de 310-320 m.

L'existence du cordon sableux commande donc au Tchad et au Nord-Cameroun toute l'hydrographie. La région Bongor-Yagoua peut apparaître comme l'ancienne embouchure du Logone dans le lac Tchad. En fait, nous pensons plutôt qu'à cette époque, le fleuve se jetait plus au Sud dans l'ancien lac, son embouchure étant précédée par une zone marécageuse au sud du cordon.

L'arrière-pays de Laï-Bongor et le lac possédaient divers exutoires d'inégale importance vers l'Atlantique. En période de crue, les eaux refluaient vers la Bénoué par les lacs de Fianga-Tikem-Toubouris. Le plan d'eau maximum du lac était alors commandé par la cote du seuil de Dana.

Dans l'arrière-pays, le débordement du fleuve, très important, s'écoulait par les vallées de la Loka et de la Kabia ...

Quant au Chari, il se scindait en trois bras à la hauteur de Miltou : Chari actuel, Bahr Erguig, qui poursuivait sa course jusqu'au lac Tchad qu'il rejoignait à Dourbali, Batha de Laïri qui venait se jeter dans celui-ci vers Bokoro.

Le Bahr Erguig semble avoir été le bras principal alors qu'à cette époque le cours actuel du Chari n'avait sans doute qu'une importance plus modeste. Ces trois voies d'eau après Miltou coulaient dans les formations sableuses anciennes, recoupant ainsi le premier delta. Celles-ci ont été à cette période arasées, fortement remaniées par de puissants courants. Le débouché de ces cours d'eau sur le lac est marqué à l'est de Fort-Lamy par un second delta de 20 000 km^2, constitué d'îlots sableux distribués en éventail. Les sables de ces îlots qui représentent un faciès fin de la série récente proviennent des formations anciennes du Sud, redéposées là, mais surtout de celles du Nord qui s'avançaient jusque dans cette région et ont été très démantelées.

Une importante dépression existait alors dans la région de Massénya et constituait un lac intérieur plus modeste à l'arrière du delta.

Le Bahr Erguig a abandonné, à la fin de ce pluvial, par suite d'ensablement, la partie supérieure de son cours pour rejoindre le Chari à Bougoumène. C'est de cette époque que dateraient les sédiments fins déposés dans la zone de confluence Bahr Erguig-Chari et les bourrelets de multiples défluents au nord de Maïlao-Logone Gana dans la dépression inter Logone-Chari.

Au nord d'Oum Hadjer dans l'Est, existait une dépression analogue à la fosse de Massénya qui était alimentée alors par le Batha.

Au nord du 13è parallèle, les cours d'eau dont nous avons parlé précédemment rejoignaient le lac par des vallées très ensablées (Ouadis Batha, Rimé, Enné, Adad, Kelb, Ouaylé, Ledey, Achim ...).

L'extension de ce lac qui couvrait 350 000 km^2 (fig.187) était particulièrement importante au Nord-Cameroun et en Nigéria. Au Tchad, il s'étendait jusqu'au pied du massif du Tibesti dont il recevait les apports. D'importantes terrasses en voie de démantèlement marquent, dans l'intérieur de ce massif, l'existence de l'ancien niveau de base que constituait ce lac.

1.5.3.3. Assèchement - Remaniement éolien (3ème erg)

Ce troisième lac va régresser à la faveur de nouvelles conditions climatiques.

La période aride qui s'installe a laissé certaines traces, telles :

- le système de dunes longitudinales bordant le lac Fitri au Sud et Sud-Ouest;
- des remaniements éoliens superficiels qui se manifestent par de multiples petites dunes longitudinales, aujourd'hui fixées par la végétation graminéenne, qui se superposent à l'ancien système dunaire au nord de l'actuel lac Tchad;
- des accolements sableux autour des pointements du socle dans le massif du Ouaddaï.

Au cours de cette régression du lac, a dû commencer à se constituer, sous l'influence de courants et à une époque où le lac oscillait avec ses crues et décrues annuelles autour de la cote 290-300 m, le chenal du Bahr el Ghazal, unissant un lac Tchad plus modeste aux bas-pays du territoire. En effet, l'assèchement des bas-pays et de la dépression du Borkou à des latitudes plus septentrionales a dû s'effectuer plus rapidement que les parties méridionales mieux arrosées et amener la création de courants empruntant les voies les plus favorables : l'une sud du lac partant à l'ouest de Massakory, la seconde sur la côte est qui débutait au sud de N'Gouri et rejoignait le Bahr el Ghazal à la hauteur de Moussoro.

1.5.4. Quatrième transgression : le cordon sableux de la cote 287 - 290 m. Le 3ème delta du Chari - Les deltas intérieurs des Bahrs Erguig et Batha. La dépression du Bahr el Ghazal - Formation des bourrelets - Dépôts de la série alluviale subactuelle à actuelle

Une nouvelle phase pluviale, moins importante que les précédentes, va se traduire par une nouvelle avancée du lac Tchad dont la limite vers le Sud est donnée par un cordon sableux discontinu observé du nord de N'Goùma (Cameroun) au sud-est de Tourba (Tchad) mais aussi en Nigéria et au Niger et celle de dépôts coquilliers sablo-argileux, limono-argileux ... trouvés sur les replats de certaines dunes situées sur la bordure du lac Tchad et dans la dépression du Bahr el Ghazal. La cote extrême de cette transgression était de 287-290 m (PIAS - GUICHARD 1957) et ce nouveau lac couvrait environ 180 000 km^2 (figure 188).

A cette époque, se constituent les tracés de certains fleuves comme le Logone en aval de Bongor, tandis que le Chari adopte un nouveau cours principal, abandonnant ses anciens parcours Batha de Laïri et Bahr Erguig. Il va se jeter alors dans le lac Tchad à la hauteur de Fort-Lamy où son nouveau delta, le 3ème, est encore visible, principalement au Cameroun par les multiples voies d'eau accompagnées de bourrelets de texture fine qui découpent l'ancienne étendue argileuse lacustre. Le Bahr Erguig va alors se jeter dans l'importante fosse de Massénya qu'il morcelle de ses multiples bras bordés de bourrelets, créant ainsi une sorte de delta dans ce lac intérieur. Le Batha va faire de même dans la fosse nord d'Oum-Hadjer. La fosse de Massénya, celle d'Oum-Hadjer finissent par se vider, la première par le Nord, la seconde par l'Ouest dans l'étendue marécageuse que constitue alors le lac Fitri.

Les cours d'eau issus du massif du Ouaddaï vont se perdre dans les sables ou gagnent péniblement la dépression du Bahr el Ghazal. Cette dernière fait communiquer à nouveau les bas-pays du Tchad et la dépression du Borkou avec le lac lui-même et sert ainsi d'exutoire à ce dernier.

Tout ceci démontre des écoulements plus faibles que lors du pluvial précédent et donne à penser qu'à la fin de celui-ci il y a eu un ensablement général des lits, à la hauteur du cordon sableux. En effet, tous les cours d'eau de ce quatrième pluvial, à l'exception du Logone et du Chari, viennent buter contre ce dernier et constituent sur son arrière d'importants marécages.

Les conditions climatiques qui règnent dans les régions nord du Tchad (Borkou, Ennedi, Tibesti) semblent nettement plus arides. Le niveau de base constitué par le lac du précédent pluvial s'est abaissé puisque les rivières s'enfoncent dans leurs anciennes vallées, laissant en surplomb de

5 à 10 m les terrasses alluviales constituées antérieurement. La dépression du Borkou ressemble alors plus à une étendue marécageuse qu'à un lac.

1.5.5. La période actuelle

De cette dernière avancée lacustre à nos jours, le lac en nouvelle régression a subi des fluctuations saisonnières ou périodiques de plus faible importance dont une très récente datant d'une centaine d'années. Il en est fait mention dans les traditions locales. Les autochtones affirment ainsi que l'on se rendait en pirogue jusqu'à Moussoro. Ceci a été confirmé en 1870 par NACHTIGAL. Les eaux du lac atteignaient alors, d'après A.BOUCHARDEAU (1957) la cote 284 m. A l'inverse, en 1925, d'après des renseignements locaux, le lac se serait trouvé 2 à 3 m en dessous de son niveau actuel (1).

L'erg actuel se situe au nord du 16è parallèle.

(1) CHUDEAU (1906) signale de même au début du siècle un lac Tchad très amoindri avec 2 nappes d'eau, l'une à l'embouchure du Chari, l'autre du Komadougou tandis que les chenaux des îles Boudoumas étaient à sec.

	Transgressions lacustres	Niveau du lac en m	Sédimentation	Remaniements éoliens Limite inférieure	Mouvements tectoniques ou épirogéniques	Surfaces anciennes (sud du Tchad) sur les dépôts continentaux terminaux
QUATERNAIRE	Actuel	282	Dépôts argileux (polder)	erg actuel (16è parallèle)		
	4è transgression	287-290	Série argileuse subactuelle à récente. Série alluviale subactuelle à actuelle (3è delta du Chari). Cordon sableux			
				3ème erg (12è parallèle)		
	3è transgression	320	Série argileuse récente. Série sableuse récente (2è delta du Chari). Cordon sableux			2è surface ferrallitique plusieurs fois rajeunie
				2ème erg (12è parallèle)		
	2è transgression	400-370-350....	Série fluvio-lacustre ancienne			
				1er erg (10è parallèle)	Mouvements faibles de subsidence	
	1ère transgression	400	Formations anciennes remaniées (1er delta du Chari)			
					Mouvements tectoniques	Déformation de la surface cuirassée
		?	?	?		Surface cuirassée
					2ème tectonique cassante. 2ème phase basaltique (Sonet 1963)	
TERTIAIRE	Pliocène					1ère surface ferrallitique
	Miocène		Continental Terminal		Mouvements tectoniques	Surface bauxitique de Koro
	Oligocène					
	Eocène				1ère tectonique cassante. 1ère phase basaltique (Sonet 1963)	

2. E S S A I S D E C H R O N O L O G I E E T D E C O R R E L A T I O N S A L'INTERIEUR DE LA CUVETTE TCHADIENNE (NIGER - NIGERIA - CAMEROUN) ET AVEC DIVERS AUTRES TERRITOIRES, VALLEE MOYENNE DU NIGER - SENEGAL - MAURITANIE - SAHARA NORD OCCIDENTAL - AFRIQUE DU NORD

2.1. LA CUVETTE TCHADIENNE

Différentes chronologies ont été faites en République du Niger, en Nigéria, au Cameroun.

2.1.1. L e N i g e r o r i e n t a l

Pour FAURE (1966) la chronologie suivante a été établie. Il distingue successivement :

1 - "Grand creusement postérieur au Continental Terminal" au cours duquel une centaine de mètres de matériaux ont été érodés pour aller se sédimenter dans la cuvette tchadienne en subsidence marquée. Cette phase a pour équivalent en République du Tchad les déblaiements successifs de la surface bauxitique et de la 1ère surface ferrallitique.
A la fin de cette période, se placerait la surface cuirassée générale qui daterait du Villafranchien.

2 - "Grand creusement postérieur aux remblaiements cuirassés" au cours duquel une nouvelle tranche de terrain de 50 à 150 m d'épaisseur a été enlevée. BOCQUIER et GAVAUD (1964) signalent 3 glacis cuirassés emboîtés qui marquent des étapes successives de ce second creusement.
Cette période a pour équivalent au Tchad celle qui a conduit :
- à l'entaillement de la surface cuirassée, à sa déformation s'accompagnant parfois d'inversions de relief;
- au dépôt des formations anciennes remaniées.

3 - "Elaboration de l'erg ancien. Période aride prolongée".
Cet erg a pour équivalent au Tchad les ergs 1 et 2.

4 - "La grande période lacustre à diatomées".
Cette période englobe dans notre chronologie 3 transgressions successives coupées de 2 phases arides :
- la 1ère transgression est celle du lac à 400 m au cours de

laquelle s'est façonné le premier delta du Chari
- 1er erg;
- la 2ème transgression conduit à un lac dont la cote s'abaisse progressivement en même temps que s'effectue l'ouverture du chenal permettant le déversement des eaux vers la Bénoué
- 2ème erg;
- la 3ème transgression correspond à celle du lac de la cote 320 m.

5 - "Période aride postérieure aux diatomées. Assèchement des lacs, éboulis, dunes II" :
celle-ci correspond au Tchad au façonnement du 3ème erg.

6 - "Phase de creusement : vallées de 20 à 30 m postérieures aux diatomites. Le Néolithique et les fluctuations climatiques récentes".
Cette phase correspond au Tchad à un nouveau pluvial qui a conduit le lac à sa 4ème transgression.

Pour PIRARD (1964), les phases d'érosion des matériaux continentaux terminaux ont conduit au dépôt dans la cuvette tchadienne d'importantes séries sédimentaires qu'il schématise ainsi au sud du 16è parallèle :

1 - 1ère période de comblement
- une série sableuse d'une centaine de mètres à caractère deltaïque avec 3 niveaux :
  . niveau supérieur à sables fins
  . niveau argileux salifère
  . niveau inférieur sableux
- une série d'argile verte (50 m)
- une série argilo-sableuse (50 à 100 m) avec des lentilles de sables qui passent à un faciès argileux et gypseux vers le Sud
- une série d'argiles à gypse et diatomite (100 à 150 m)
- une série d'argiles bleues (50 m)
- une série détritique à sables moyens à grossiers parfois graveleux.

L'ensemble fait 350 à 400 m.

La série sableuse supérieure apparaît comme l'équivalent au Tchad de nos formations anciennes remaniées.

2 - Période aride qui a façonné le modelé dunaire constitué d'un système de dunes transverses NW-SE à NS.

C'est l'erg 2 du Tchad, l'erg 1 se trouvant masqué par celui-ci.

Un second système de dunes longitudinales est signalé par cet auteur et correspond sans doute à notre erg 3.

3 - "Transgression prototchadienne et aplanissement de l'erg".
Il s'agit du lac à 400m que l'auteur identifie à cette cote.

4 - Phases de régression marquées par des niveaux successifs du lac à 350 m, 320 m, 290 m et niveau actuel du lac.

Ce schéma ne fait pas ressortir la succession d'arides et de pluviaux qui ont marqué le Quaternaire moyen et récent de la cuvette tchadienne.

2.1.2. N i g é r i a

R.A. PULLAN (1965), dans une étude portant à la fois sur la partie nigérienne de la cuvette et le Tchad (interprétation des travaux des pédologues de l'ORSTOM), propose la chronologie suivante par comparaison avec des travaux effectués dans le bassin méditerranéen (Nil, nord du Sahara, Mésopotamie) par BUTZER (1961) et en Angola et Est africain par BAKKER et CLARK (1962).

a. Grande transgression lors d'un pluvial. Lac à une cote non définie. Dépôts argilo-sableux suivis par des sables fins.

b. Régression du lac. Aride. Formation des "sief-dunes" (dunes orientées NE-SW)

c. Transgression. Lac à la cote 320 m. Cordon sableux sud. Grand delta de sable grossier et argile lacustre fine.

d. Petite régression, climat plus sec. Lagunes. Dunes NS.

e. Petite transgression. Climat plus humide. Lac à la cote 287 m. Dépôts d'argiles lagunaires. Petit delta. Dunes submergées.

f. Petite régression jusqu'à la période actuelle. Lac à la cote 282 m.

Le système de "sief-dunes" (b) est l'équivalent de l'erg 1 de Yagoua-Kalfou au Cameroun.

Les dunes NS (d) ont certainement pour équivalent l'erg 2 du Tchad qui se termine dans le sud (1er delta du Chari) et dans l'est du pays par des dunes ayant cette orientation et non plus celle des rives est et nord du lac (orientation NW-SE). Ces dunes se sont formées antérieurement au lac à la cote 320 m (c).

Voici les comparaisons que nous serions tentés d'établir avec la classification BAKKER et CLARK et celle de PULLAN (tableau ci-après).

Est Afrique		Nigéria	Tchad
BAKKER - CLARK		PULLAN	PIAS
	actuel	f	f. Lac à la cote 282 m (delta actuel du Chari)
	Nakuran	e	e. Lac à la cote 287 m (3ème delta du Chari)
	aride	d	d. 3ème erg (sans doute non visible en Nigéria)
	Makalian	c	c. Lac à la cote 320 m (2ème delta du Chari)
	aride		d. 2ème erg
Gamblian	Pluvial principal		Lac en régression cote 400-370-350 m (peut-être non visible en Nigéria)
	aride	b	b. 1er erg
	Pluvial inférieur	a	a. Lac à 400 m (1er delta du Chari)

2.1.3. C a m e r o u n

Cette partie de la cuvette tchadienne a fait l'objet d'études pédologiques à diverses échelles par plusieurs chercheurs de l'ORSTOM qui ont conduit à différentes interprétations que nous résumerons de la façon suivante.

Le système dunaire composant l'erg 1 est visible de Yagoua à la frontière du Nigéria où il affecte à la fois des formations de sables rouges (série paléotchadienne moyenne) et les formations anciennes remaniées de couleur claire (dunes de Ouaza ...). L'existence du lac à la cote 400 m est mise en évidence par 4 bandes sableuses (SIEFFERMANN 1967) qui marquent des retraits successifs du lac lors de l'ouverture de la dépression des lacs de Fianga-Tikem-Toubouris conduisant les eaux de la cuvette tchadienne vers la Bénoué (1).

Les sédiments argilo-sableux déposés lors de la seconde transgression sont peu abondants au Cameroun. Ils sont observés cependant dans la région de Yagoua. Ils sont le plus souvent recouverts par les dépôts de la transgression suivante.

(1) Cet auteur considère ces bandes sableuses successives comme antérieures à l'erg de dunes longitudinales. S'il en était ainsi sa création aurait amené l'effacement de ces lignes de rivage.

Le 2ème erg ne paraît pas avoir atteint ces régions.

Le cordon sableux Yagoua-Limani (PIAS-GUICHARD 1957) qui continue le grand cordon du Tchad se poursuit en cette région où il marque l'extension du lac de la cote 320 m.

Au cours de cette transgression se sont déposées la série fluviatile sableuse récente (cours des mayos Boula, Tsanaga, Balda, Motorsolo, Ranéo, Mangafé ...) et la série argileuse récente (Yaérés).

Pendant cette phase lacustre s'étendait à l'ouest du cordon entre celui-ci et les massifs une zone lagunaire dont une partie des eaux s'écoulait par le mayo Danaye vers l'exutoire de Dana.

De même que la seconde phase aride n'a laissé aucune trace ici, nous n'avons en cette région aucune manifestation du 3ème erg.

La 4ème transgression (lac de la cote 287-290 m) est visible par un cordon sableux sur la rive sud du lac entre Ngouma et Massaky. En même temps se constitue le 3ème delta du Chari (triangle Fort Lamy-Suéram-Hadjer el Hamis). PIAS 1962 c.

2.1.4. Le problème de la subsidence de la cuvette tchadienne

Le début de la subsidence de cette cuvette est antérieur ou contemporain aux dépôts du Continental Terminal (Eocène, Miocène). Ces sédiments ajoutés à ceux du Quaternaire peuvent atteindre 600 m ainsi que l'ont montré les sondages au Bornou (BARBER-JONES 1960).

FAURE (1966) distingue au Niger 2 grandes phases de creusement qui peuvent être parallélisées à des mouvements importants de subsidence :

1 - grand creusement postérieur au Continental Terminal (100 à 150 m);
2 - grand creusement (50 à 100 m) postérieur aux remblaiements cuirassés avec 3 glacis cuirassés emboîtés (BOCQUIER-GAVAUD 1964).

La 1ère phase serait d'âge fin Tertiaire, tandis que la seconde daterait du Quaternaire ancien.

Au Tchad, il semble que ce soit 3 phases de creusement qui se distinguent pendant cette période (tableau page 289).

1 - Démantèlement de la surface bauxitique de Koro;
2 - démantèlement de la 1ère surface ferrallitique;
3 - déformation de la surface cuirassée formée à la fin de la période précédente.

Ce sont ensuite des mouvements plus mineurs qui s'inscrivent bien que FAURE indique une subsidence importante en parallélisant le lac de la cote 400 m au cordon sableux du sud de la cuvette à la cote 320-330 m. Il conclut à une subsidence de 70 m opérée en 7 000 ans (1 m par siècle). Or

ce lac de la cote 400 m est encore bien marqué par un vestige important dans le sud de la cuvette (1er delta du Chari) à une cote qui paraît de l'ordre de 380 à 400 m (1). La subsidence semble avoir été mineure tout au moins dans cette partie (peut-être une vingtaine de mètres) mais a pu être effectivement plus importante dans la région de Kalfou-Yagoua où devait se créer la dépression des lacs de Fianga-Tikem-Toubouris amenant un déversement des eaux de la cuvette tchadienne vers la Bénoué (cote 320 m) lors de la seconde transgression. Des phénomènes d'érosion régressive sont, en partie, dans cette région, la cause de "la capture" encore que le seuil des chutes Gauthiot limite fort cette hypothèse.

Après cette période aucune subsidence ne paraît visible. Le cordon sableux de la cote 320 m bien conservé est relativement constant en altitude.

Les phases d'érosion qui se sont alors produites sur les massifs ou les surfaces (rajeunissements de la 2ème surface ferrallitique) sont surtout à mettre au compte des pluviaux qui se sont succédés au Quaternaire récent.

2.1.5. Les niveaux lacustres supérieurs à la cote 400 m

Divers auteurs ont signalé au Niger des rivages supérieurs à la cote 400 m et ont indiqué des niveaux lacustres à 410-420 m et même 425 m à Doyang au Cameroun (SIEFFERMANN 1967). Des sédimentations interprétées par nous comme fluvio-lacustres ont également été observées au voisinage des massifs et notamment de celui du Ouaddaï mais nous ont semblé correspondre à des niveaux de lacs de marécages de montagnes ou de piedmont sans liaison avec l'étendue lacustre de la cuvette tchadienne. Ces lacs se sont constitués au cours de pluviaux à la faveur de seuils rocheux ou d'écrans dunaires dont le percement ultérieur, à la suite de la montée des eaux, a eu pour conséquence des arasions et des transports sédimentaires importants.

2.1.6. Les niveaux lacustres entre les cotes 400 et 320 m

Signalés par BOCQUIER-GAVAUD (1964) et PIRARD (1964) ces niveaux lacustres (370-350 m) semblent le parallèle de ceux indiqués par SIEFFERMANN (1967) au Cameroun. Ce sont pour nous des rivages successifs marquant le retrait du lac de la cote 400 m après l'ouverture du chenal conduisant les eaux de la cuvette tchadienne vers la Bénoué.

---

(1) La cote atteinte par ce lac serait de 350 m si l'on s'en tient à l'altitude actuelle de Miltou point sud du triangle constitué par ce delta. En fait, ce triangle est précédé, en amont, d'un important couloir de sédiments qui remonte jusque entre Niellim et Fort-Archambault.

2.1.7. Essai de datation des formations sédimentaires récentes dans la cuvette tchadienne

Nous disposons de datations absolues obtenues dans la cuvette tchadienne par FAURE (1966), SCHNEIDER (1967), SERVANT (1967).

FAURE indique au Niger l'existence de phases pluviales entre 21 350 ans BP et 7 000 ans BP (grands lacs atériens), puis à nouveau vers 5 130 ans BP (Néolithique ancien), puis au Néolithique récent. Ces pulsations climatiques humides sont séparées par des périodes plus sèches sinon arides ayant amené le façonnement d'ergs. La date la plus ancienne enregistrée correspond à un lac ayant atteint la cote 400 m.

SCHNEIDER nous apporte des indications précieuses sur le lac de la cote 320 m en nous indiquant qu'il se tenait encore à ce niveau vers 5 400 ans BP puis qu'il a progressivement régressé dans les bas-pays du Tchad pour atteindre la cote 305 m en 4 350 ans BP, puis celle de 265 m en 3 160 ans BP.

SERVANT enfin nous donne les précisions suivantes sur le Kanem où il y aurait eu successivement :

- un premier modelé sableux avant 30 000 ans BP;
- un premier épisode lacustre qui aurait commencé vers 30 000 ans BP;
- un deuxième modelé sableux dans une période antérieure à 12 000 ans BP;
- un deuxième épisode lacustre qui se serait poursuivi de 12 000 à 2 400 ans BP et qu'il subdivise en plusieurs phases transgressives, 12 000, 7 000 et 3 200 ans BP;
- enfin le Bahr el Ghazal aurait commencé à déposer des alluvions à partir de 1 800 ans BP et ceci jusqu'à une période récente.

Ces diverses données permettent de tenter un essai de reconstitution des alternances climatiques dans l'intérieur de la cuvette tchadienne.

La date de 21 350 ans BP de FAURE marque sans doute la fin du 1er épisode lacustre (30 000 à 20 000 ans BP) en même temps que s'amorce la phase aride qui va conduire au second modelé sableux (20 000 - 12 000 ans BP).

La date de SCHNEIDER (5 400 ans BP) indique la fin du 2ème épisode lacustre ou tout au moins le début de la régression du lac de la cote 320 m.

Ce second épisode lacustre se situerait donc entre 12 000 et 5 400 ans BP avec cependant une récurrence sèche avant 7 000 ans BP.

Le 3ème épisode lacustre aurait débuté vers 3 200 ans BP et se serait terminé par l'écoulement du Bahr el Ghazal vers les bas-pays du Tchad à partir de 1 800 ans BP.

Le tableau suivant tente de reconstituer, par ordre chronologique, les différents épisodes qui se sont produits dans la cuvette tchadienne et donne en même temps l'âge de dépôts des formations sédimentaires récentes.

Etage	Niveau du lac en m	Sédimentation	Remaniement éolien Limite inférieure	Age approximatif BP d'après divers auteurs
Actuel	282	Dépôt argileux (polder)	Erg actuel (16è parallèle)	
4 ème transgression	287-290	Série alluviale actuelle à subactuelle. Série argileuse subactuelle à récente (3ème delta)		1 800 3 200
Récurrence sèche			3è erg (12è parallèle)	
3ème transgression	320	Série argileuse récente. Série sableuse récente (2ème delta)		5 400 12 000
Récurrence sèche			2ème erg (12è parallèle)	
2ème transgression	400	Série fluvio-lacustre ancienne	1er erg (10è parallèle)	20 000
Récurrence sèche				30 000 40 000 (?)
1ère transgression		Série ancienne remaniée (1er delta)		50 000 (?)

2.2. LA VALLEE MOYENNE DU NIGER

Elle présente de grandes analogies avec la cuvette tchadienne. En effet, dans cette partie de son cours, le fleuve Niger allait tout d'abord divaguer pour se perdre au sud du Sahara. Il n'a emprunté qu'assez récemment la vallée qui le conduit vers l'Atlantique. Le vieux bassin endoréique a donc conservé des formes reliques qui s'associent aux formes actuelles.

Le Quaternaire de cette région (J.TRICART 1965) se subdivise ainsi :

1 - un Quaternaire ancien caractérisé par plusieurs faciès :
. cuirasses ferrugineuses de rivages lacustres ou de glacis se raccordant parfois ensemble;

. formations d'altération et d'épandages de galets quartzeux émoussés et de débris argileux;
. formations alluviales d'épandages deltaïques qui constituent l'essentiel de ce qui subira le remaniement éolien de la phase suivante.

2 - Une période aride préouljienne qui correspond à la formation des ergs 1 et 2 du Tchad.

3 - Une période humide ouljienne (grand lac Tchad de la cote 320 m, dépôts de la série sédimentaire récente ...).

4 - Un Quaternaire récent, avec une période sèche préflandrienne (3ème erg du Tchad) et une période humide (lac de la cote 287 m).

2.3. SENEGAL - MAURITANIE

C'est une chronologie analogue que TRICART avait donné pour le Sénégal (TRICART-BROCHU 1955 - TRICART 1961).

MICHEL, ELOUARD, FAURE (1967) et MICHEL (1967) à la suite de datation au C_{14} ont établi la nouvelle chronologie suivante. Nous avons porté dans ce tableau la correspondance existante entre la cuvette tchadienne et les bassins des fleuves Sénégal et Gambie.

<table>
<tr><th colspan="4">Fleuves Sénégal - Gambie (MICHEL - 1967)</th><th>Tchad</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Climat</th><th rowspan="2">Niveau marin</th><th colspan="2">Terminologie</th><th rowspan="2">Transgressions lacustres
Ergs successifs</th></tr>
<tr><th>régionale</th><th>générale</th></tr>
<tr><td>Humide

Assez sec

Très humide (8 000 à 11 000 ans BP ?)</td><td>Transgression</td><td>Nouakchottien (5 500 ans BP)

(1)</td><td></td><td>3ème transgression. Lac à la cote 320 m (2è delta du Chari)</td></tr>
<tr><td>Très aride
Subaride (contrasté)</td><td rowspan="2">Régression</td><td>Ogolien</td><td>Würm récent</td><td>Erg 2</td></tr>
<tr><td>Assez sec ?
Subaride</td><td>Transgression
Régression</td><td>Inchirien supérieur (31000 à 40000 ans BP?)</td><td>Interstade
Würm ancien</td><td>2è transgression

Erg 1</td></tr>
<tr><td>Très humide</td><td>Transgression</td><td>Inchirien inférieur</td><td>Inter-glaciaire</td><td>1è transgression Lac à la cote 400m (1er delta du Chari)</td></tr>
</table>

(1) Dans l'Adrar mauritanien 2 datations au C_{14} ont permis de préciser l'existence d'étendues lacustres à une même époque (7320 ± 120 ans BP, 9230± 700 ans BP). DAVEAU RIBEIRO-BIBERSON (1967)

Avec l'ancienne terminologie (TRICART 1961) les équivalences suivantes sont adoptées :

dunes rouges préouljiennes	=	dunes rouges ogoliennes
période ouljienne	=	Nouakchottien
phase sèche préflandrienne	=	post-Nouakchottien

De grandes analogies existent entre la géomorphologie du Sénégal et celle de la cuvette tchadienne notamment en ce qui concerne le système de dunes rouges ogoliennes (erg 2 du Tchad). Ces dunes rouges qui se poursuivent à travers le Mali et le Niger forment ainsi une bande continue en Afrique de l'Ouest.

2.4. CHRONOLOGIE AU NORD SAHARA ET EN AFRIQUE DU NORD

Il est difficile d'établir un parallèle entre ces régions d'Afrique et celles du sud du Sahara, ceci tant qu'aucune réponse définitive ne semble avoir été trouvée quant au synchronisme Glaciation - Pluvial ou Glaciation - Interpluvial.

2.4.1. Sahara nord occidental

CHAVAILLON (1964) avec différents auteurs admet que le premier postulat est de règle au nord de la bande saharienne. Ceci conduit aux corrélations suivantes entre les chronologies marocaine et Sahara nord occidental et les glaciations alpines et transgressions marines (tableau ci-après).

Au Quaternaire récent, le mieux connu, ont été mis en évidence 2 cycles climato-sédimentaires :

- le cycle Saourien qui présente plusieurs pulsations climatiques traduites par des alternances de dépôts fluvio-lacustres et de formations arides. Il est en synchronisme avec la glaciation Würm. Il serait antérieur à 39 500 ans BP et se serait poursuivi jusqu'en 14 500 ans BP avec un épisode aride vers 32 700 ans BP (ALIMEN - BEUCHER - CONRAD 1966);

- le cycle Guirien plus court offre de faibles pulsations mieux visibles du fait de leur jeunesse relative. Il aurait présenté un climat humide ou semi-aride qui aurait favorisé l'implantation de populations néolithiques dans ces régions (Néolithique de l'Adrar Bous 3 180 ans avant JC - DELIBRIAS-HUGOT 1962). De cette même époque dateraient des paléosols de type isohumique (DUTIL-JUSTE 1965). L'extension dans le temps de ce pluvial se situerait entre 6 500 et 4 500 ans BP (CONRAD 1967).

Stratigraphie continentale			Stratigraphie marine		Industries humaines
Glaciations Stratigraphie alpine	Niveaux pluviaux Maroc	Sahara n.occ.	Transgressions = inter-pluviaux Méditerranée	Europe	
Post-Flandrien	Rharbien	Actuel Guirien			Actuel à Néolithique
			Mellahien	Flandrien	
Würm	Soltanien	Saourien			Atérien
			Ouljien Rabatien	Néotyrrhénien Eutyrrhénien	
Riss	Tensiftien	Ougartien			Acheuléen supérieur
			Anfatien	Paléo-tyrrhénien	
Mindel	Amirien	Ougartien Taourirtien			Acheuléen inférieur
			Maarifien	Sicilien II ? Milazzien ?	
Günz	Saletien	Taourirtien			Pebble culture
			Messaoudien	Calabrien ? Sicilien I ?	
Danube	Moulouyen	Mazzerien			

2.4.2. A f r i q u e d u N o r d

2.4.2.1. Maroc - Algérie - Tunisie

Le Quaternaire de ces régions a été étudié par de nombreux auteurs (RAYNAL et al 1953, 1955, 1961, 1964 - DURAND et al 1953, 1956, 1958 - BIBERSON 1958, 1961, 1962, 1964 - BOULAINE 1957 - 1961 - BEAUDET-MAURER-RUELLAN 1967 ...). Entre ces territoires et la cuvette tchadienne les similitudes sont rares mais

existent cependant (1).

Les conditions climatiques anciennes et récentes ont eu pour conséquence en Afrique du Nord la formation de sols diversement rubéfiés présentant dans leurs horizons profonds des phénomènes de nodulations calcaires ou d'encroûtements dus à des périodes d'intense lessivage du calcaire par l'eau des précipitations.

BEAUDET - MAURER - RUELLAN (1967) estiment qu'au cours de la période allant du Villafranchien à l'Amirien, les pulsations climatiques ont été faibles et qu'a régné un climat doux relativement humide au Maroc.

Le Quaternaire moyen à l'inverse, est la période des contrastes climatiques. Le pluvial Amirien est bien marqué, et l'interpluvial suivant long et accentué. Au Quaternaire récent, le pluvial Tensiftien est aussi bien marqué que l'Amirien. C'est pendant ces deux périodes que se forment les dépôts rouges qui seront épandus par la suite et sur lesquels se développeront les sols. A l'interpluvial Tensiftien - Soltanien se forme dans le Maroc intérieur une seconde croûte calcaire généralisée.

Au Soltanien et Rharbien les pluviaux sont beaucoup moins forts tandis que les glaciations s'observent seulement en altitude.

2.4.2.2. Egypte

BUTZER (1961) a établi pour l'Egypte une chronologie basée sur des datations absolues que nous reproduisons :

200 ans AD ou 1750 ans BP	- Fin de la sédimentation du Nil. Activité éolienne.
500 ans BC ou 2450 ans BP	- Début de la sédimentation du Nil, dunes enterrées en Egypte.
500 à 2350 ans BC ou 2450 à 4300 ans BP	- Période sèche mais degré d'aridité non connu.
2400 à 5000 ans BC ou 4350 à 6950 ans BP	- Période subpluviale (Néolithique) très bien identifiée. Précipitations croissantes de 50 à 100 mm dans la zone du Sahel au sud du Sahara par rapport à la pluviométrie actuelle.
8000 à 9000 ans BC ou 9950 à 10950 ans BP	- Période très aride.

(1)-Il est connu en Tunisie une surface ferrallitique fossile à Taméra près de la frontière algérienne. Elle s'est constituée sur des dépôts marins, des marnes contenant des grès glauconieux, datés du Priabonien (Eocène supérieur). Le sol rappelle par sa morphologie (très grande épaisseur du profil), sa couleur, ses propriétés physico-chimiques ... les sols ferrallitiques des régions tropicales humides. Cette surface pourrait être de même âge que la surface bauxitique de Koro au Tchad.
-La datation correspondante de la croûte calcaire villafranchienne et de la surface cuirassée africaine attribuées à la fin du Tertiaire. Toutes deux ont subi des déformations importantes après leur dépôt à la suite de mouvements tectoniques.

9000 ans BC ou 10950 ans BP - Episode humide dans le Middle East.

13000 ans BC ou 14950 ans BP - Période extrêmement aride.

BUTZER-HANSEN (1967) ont par ailleurs mis en évidence dans le bassin du Nil en Nubie égyptienne plusieurs cycles de sédimentation différents dont certains marquent l'origine prépondérante d'apports du Bahr el Ghazal venant des régions subtropicales du Soudan :

50000 à 25000 ans BP - Période humide en Nubie et dans les pays nilotiques.

23000 à 18000 ans BP - Climat sec en Egypte, humide au Soudan.

17000 à 5000 ans BP - Les apports des oueds d'Egypte en hiver alternent avec ceux d'été du haut bassin et sont sensiblement analogues à ceux qui se déposent actuellement.

Ainsi au maximum de la glaciation Würm (23000 à 18000 ans BP pour ces auteurs), le climat était sec en Egypte, humide dans le haut bassin du Nil. Ceci est en contradiction avec les observations faites au Sahara nord occidental (ALIMEN - BEUCHER - CONRAD 1967) où le pluvial Saourien se poursuit jusqu'en 14500 ans BP. Des niveaux lacustres ont pu continuer à subsister par ailleurs lors de période sèche, ainsi WILLIAM (1966) signale en Gézira d'importants dépôts lacustres dans une période qui aurait débuté antérieurement à 15000 ans BP et se serait poursuivie jusque vers 12000 - 8000 ans BP. LIVINGSTONE (1967) en indique de même dans l'est africain (lacs Victoria et Naïvasha) où la période sèche débute vers 15000 ans BP pour se terminer vers 13000 ans BP.

2.5. ESSAI DE CORRELATION ENTRE DIFFERENTES CHRONOLOGIES ET DATATIONS ABSOLUES

Dans le tableau ci-après sont indiquées des datations absolues et chronologies retenues en différents pays d'Afrique.

Le pluvial P_4 se retrouve de façon constante au Sénégal, en Mauritanie, dans la cuvette tchadienne, et même en Egypte où la sédimentation du Nil de cette période est peut-être le résultat de conditions plus humides sur les hauts bassins (Ethiopie - Soudan) puisque ce pluvial n'apparaît pas au Sahara nord occidental.

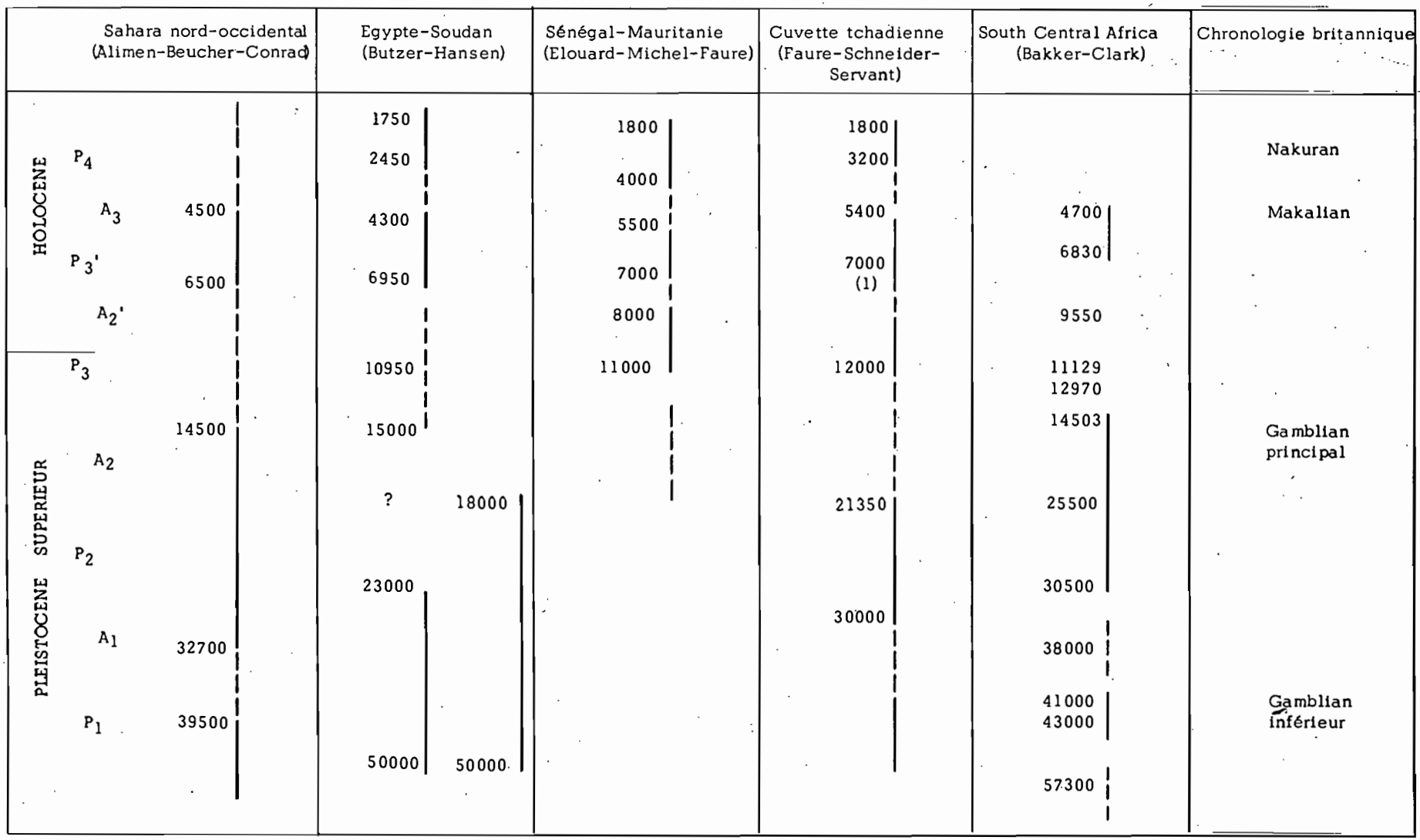
P_3' est sensiblement identique en durée et datation absolue en tous lieux avec cependant de légers décalages

P_3 est observé en Mauritanie (Adrar), au Sénégal, dans la cuvette tchadienne mais non en Egypte et au Sahara nord occidental où paraissent régner des conditions plus arides

P_2 est visible dans la cuvette tchadienne, au Soudan tandis qu'au Sahara nord occidental il se poursuit plus tardivement

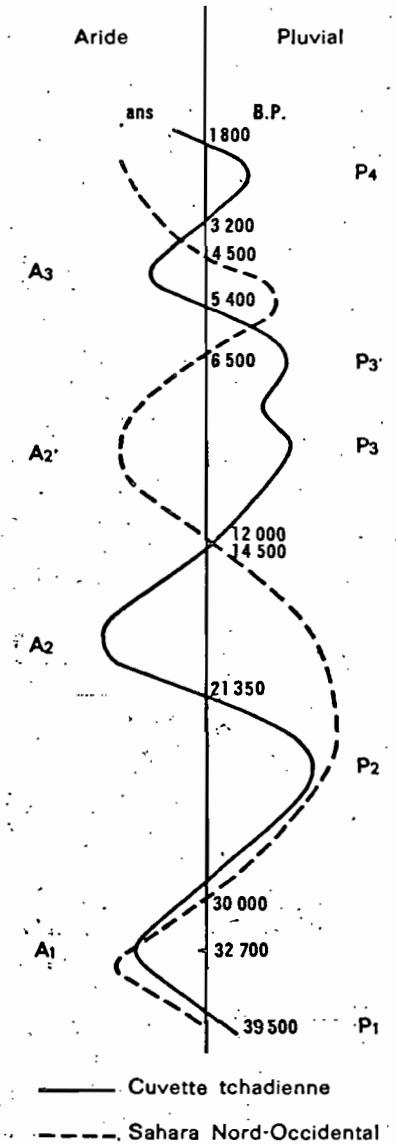
P_1 est signalé en Angola, au Soudan, au Sahara nord occidental et a existé sans doute de la même façon au Tchad (1er delta du Chari).

Age ans BP



P ——— Pluvial
A ------ Interpluvial ou aride

(1) Interpluvial peu marqué au sud du 16è parallèle


Aride
Pluvial
ans
B.P.
1800
3 200
4 500
5 400
6 500
12 000
14 500
21 350
30 000
32 700
39 500
P4
P3'
P3
P2
P1
A3
A2'
A2
A1
Cuvette tchadienne
Sahara Nord-Occidental

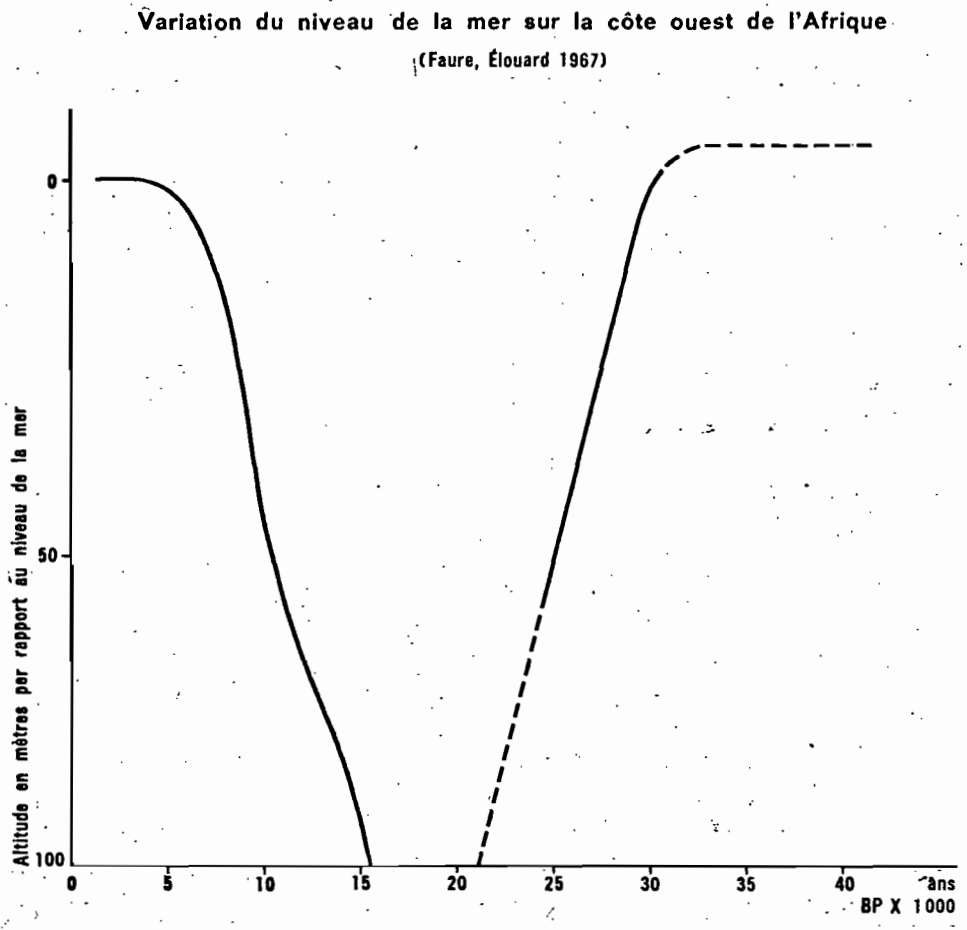

Variation du niveau de la mer sur la côte ouest de l'Afrique
(Faure, Élouard 1967)
Altitude en mètres par rapport au niveau de la mer
0
50
100
0
5
10
15
20
25
30
35
40
ans
BP X 1000

Figure 189

Les périodes arides ou interpluviales (A) sont différemment observées. A_3 est constant en tous lieux, de même que A'_2, mais celui-ci serait plus marqué aux latitudes les plus septentrionales (Nord Sahara - Nil) où il se confond alors peut-être avec A_2. A_2 est visible au Sénégal et dans la cuvette tchadienne. Il correspond à la période de formations des dunes rouges ogoliennes. A_1 semble uniquement connu au Cameroun et en Nigéria et aussi peut-être au Niger où GAVAUD (1967) signale 2 ergs confondus. Nous avons vu que SERVANT (1967) date un premier modelé dunaire antérieurement à 30000 ans BP. Y a-t-il concordance de cette période aride et de celle signalée vers 32700 ans BP au Sahara nord occidental (ALIMEN - BEUCHER - CONRAD 1966) et en Angola vers 38 000 ans BP (BAKKER - CLARK 1961)?

Des corrélations de ce genre restent très hypothétiques.

2.6. GLACIATION - PLUVIAL - GLACIATION - INTERPLUVIAL

Le maximum de la glaciation würmienne se situe si l'on en juge par l'abaissement maximum du niveau des océans, entre 20 000 et 17 000 ans BP. Celui-ci aurait débuté vers 31 000 ans BP pour se terminer en 5 000 ans BP et aurait amené une baisse du niveau de la mer estimée à 120 m. A la cote la plus basse correspondrait au Sénégal l'erg ogolien (Erg 2 du Tchad) qui se serait étendu dans ce premier pays sur le plateau continental alors émergé (FAURE - ELOUARD 1967). A l'inverse au maximum de la glaciation würmienne correspond au Sahara nord occidental le pluvial Saourien qui se poursuivra jusque vers 14 500 ans BP (1). Ces observations paraissent donc confirmer en Afrique de l'Ouest l'hypothèse de BALOUT (1952) et TRICART (1956-1961) ; à savoir que la période glaciaire correspond au sud du Sahara à une phase aride et au nord de celui-ci à une période pluviale. Mais le phénomène est plus complexe puisque des périodes pluviales importantes se sont manifestées en zone tropicale lors de la baisse (30 000 à 20 000 ans BP) ou la remontée des océans (12 000 à 5 000 ans BP). (2)

La figure 189 reproduit les décalages entre périodes pluviales et arides constatés dans différentes parties d'Afrique, de part et d'autre du Sahara, au Quaternaire récent.

Ce sont peut-être des interférences de ce genre entre périodes

---

(1) Ceci est en contradiction avec les observations de BUTZER-HANSEN (1967) en Egypte où le climat aurait été sec au maximum de cette glaciation.

(2) BUTZER (1967) montre de façon identique que sur la côte de la Mer Rouge en Egypte, les corrélations glaciation - pluvial et interglaciation - pluvial ne sont que des notions simplifiées d'événements plus complexes. Ainsi la période interglaciaire (Eem) précédant le Würm a présenté un climat aussi aride que celui de nos jours mais avec un petit épisode humide. Au Würm de la même façon se sont manifestés au cours de la régression marine, tout d'abord des épisodes pluviaux puis des périodes sèches.

pluviales au nord et au sud du Sahara qui ont permis les migrations de la faune et de la flore tropicale et méditerranéenne à travers le continent africain dans un sens ou dans l'autre au cours du Quaternaire.

3. CYCLE SEDIMENTAIRE ET PEDOGENESE EN RELATION AVEC L'ALTERNANCE DE PHASES PLUVIALE ET ARIDE

Il se trouve résumé dans le schéma suivant.

3.1. LE CYCLE DE SEDIMENTATION

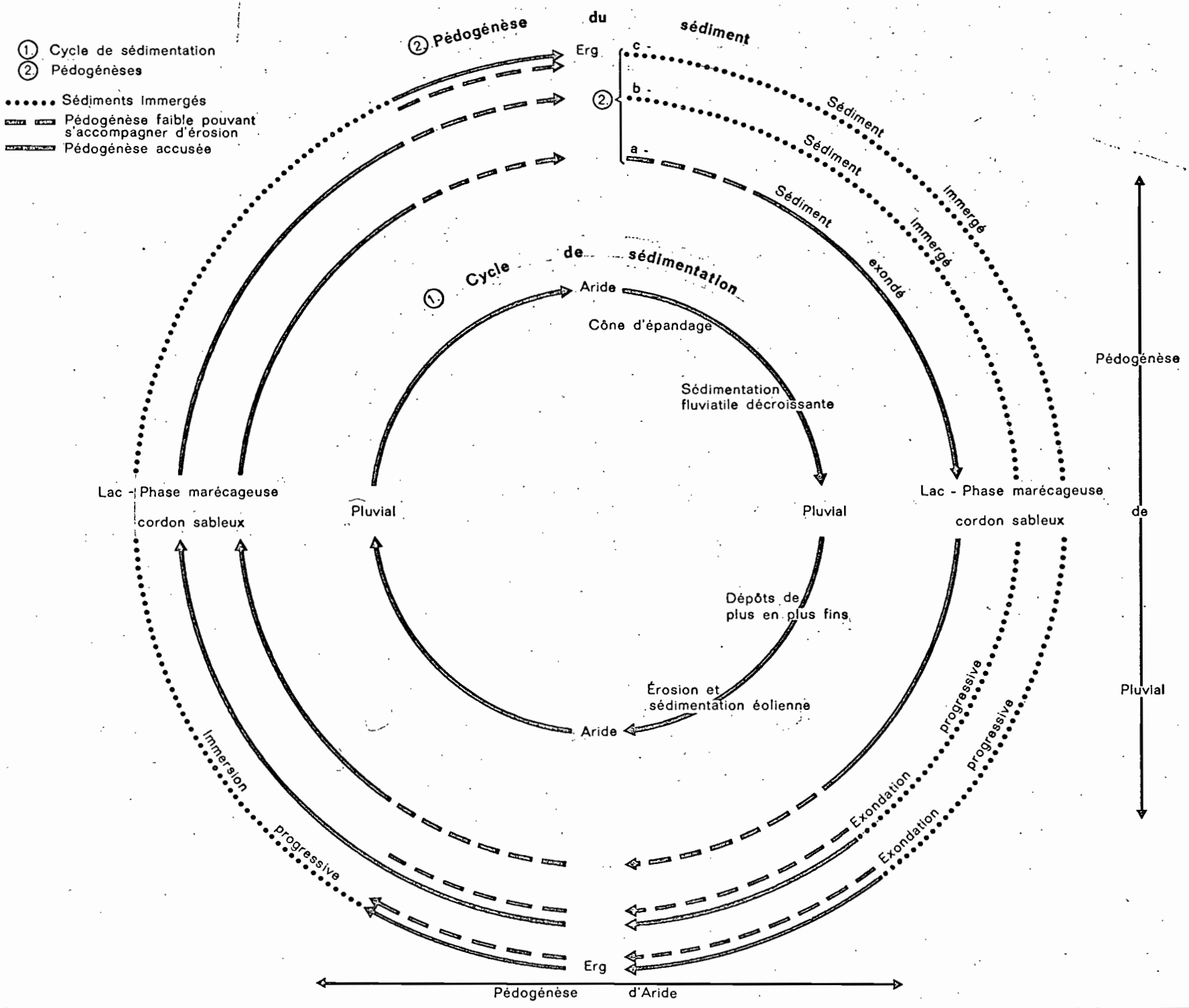
Il débute, lors du passage aride à pluvial, par une active reprise de l'érosion qui se traduit par la formation de cônes de déjection. Puis, en même temps que s'établissent les profils d'équilibre des cours d'eau, la sédimentation devient de moins en moins grossière au fur et à mesure que l'on se rapproche du maximum du pluvial (Lac - Formation marécageuse - Cordon sableux). Le passage de ce dernier vers l'aride suivant se traduit par des dépôts de plus en plus fins (sables, limons sableux, limons ...) avant que ne se manifestent l'érosion éolienne et la formation de l'erg.

3.2. LA PEDOGENESE DU SEDIMENT

Nous distinguerons trois cas.

a. Sédiment exondé.

La pédogenèse sera la plus intense à la fin du pluvial et au début de l'aride. Les caractères acquis ensuite ne se marqueront que peu, masqués par les précédents plus forts. Les pédogenèses successives après plusieurs pluviaux seront cumulatives et s'accuseront (sols ferrallitiques - sols ferrugineux tropicaux lessivés, ...). Dans le cas de sols à très mauvais drainage interne, nous aurons des sols hydromorphes, des vertisols.


① Cycle de sédimentation
② Pédogénèses
Sédiments Immergés
Pédogénèse faible pouvant s'accompagner d'érosion
Pédogénèse accusée
② Pédogénèse du sédiment
Erg
c -
b -
a -
Sédiment Immergé
Sédiment Immergé
Sédiment exondé
① Cycle de sédimentation
Aride
Cône d'épandage
Sédimentation fluviatile décroissante
Lac - Phase marécageuse
cordon sableux
Pluvial
Pluvial
Lac - Phase marécageuse
cordon sableux
Dépôts de plus en plus fins
Érosion et sédimentation éolienne
Aride
Immersion progressive
Exondation progressive
Exondation progressive
Erg
Pédogénèse d'Aride
Pédogénèse de Pluvial

b. Sédiment immergé lors de son dépôt, exondé ensuite.

- Pluvial : dépôt en conditions d'immersion. Il n'y aura pas de pédogenèse pendant cette période, ou bien seulement une accumulation chimique biostasique (ce qui n'est pas le cas ici).
- Aride : exondation progressive lors de l'assèchement tendant à donner une pédogenèse de caractère peu évolué (hydromorphe, vertisolique, ferruginisante peu lessivé, isohumique) pour des précipitations assez importantes. Pour des précipitations moindres et mauvais drainage, l'on tendra vers l'halomorphie. Si le sédiment est encore exondé au pluvial suivant, c'est cette pédogenèse de pluvial qui marquera alors le plus.

c. Sédiment immergé lors du dépôt, puis subissant des immersions et exondations successives.

- Dépôt et immersion pendant le premier pluvial.
- Emersion progressive et pédogenèse lors du passage pluvial à aride, puis au début du pluvial suivant en même temps que se manisfestera une érosion plus ou moins importante (sols hydromorphes - vertisols - sols halomorphes). Puis à nouveau, immersion.

Il convient donc de distinguer deux types de pédogenèse. Une pédogenèse pluviale à caractères plus ou moins accusés suivant l'importance et la durée du pluvial (sols ferrallitiques - sols ferrugineux tropicaux lessivés) et dans le cas de mauvais drainage interne (sols hydromorphes, vertisols); une pédogenèse d'aride à caractères moindres dans le cas de sédiments franchement exondés en milieu bien drainé (sols ferrugineux tropicaux peu lessivés - sols bruns subarides), à caractères très accusés pour des sédiments mal drainés et possédant des nappes de faible profondeur (vertisols - sols hydromorphes - sols halomorphes - phénomènes de carbonatation).

Ces alternances de pédogenèse en phase pluviale ou aride d'un sédiment immergé puis exondé sont importantes, car elles se sont produites fréquemment au cours du Quaternaire dans la cuvette tchadienne.

4. LES PEDOGENESES SUCCESSIVES

Les séries sédimentaires les plus âgées ont subi plusieurs pédogenèses successives après leur mise en place. Les plus anciennes que nous connaissions au Tchad par les empreintes qu'elles ont laissées remontent au Tertiaire (Oligocène - Miocène ?).

4.1. LA PHASE FERRALLITISANTE

Elle semble avoir débuté dès cette époque du Tertiaire et s'être poursuivie dans le sud du pays jusqu'à une période très récente. Elle s'est effectuée dans une première époque en même temps que se produisaient des mouvements de surélévation sur le pourtour et de subsidence dans la cuvette. Ceux-ci devaient amener des phases érosives puissantes, l'ablation des sols formés, le rajeunissement des surfaces. On compte ainsi : une surface bauxitique, au moins deux surfaces ferrallitiques et une surface de cuirasse ferrugineuse.

La première, la plus ancienne, la surface bauxitique de Koro, s'est formée sur les dépôts les plus récents du Continental Terminal (série paléotchadienne supérieure). L'épaisseur de l'altération, une dizaine de mètres, laisse supposer une longue pédogenèse si l'on retient les chiffres avancés par AUBERT-LENEUF (1960), 20 000 à 192 000 ans suivant la pluviométrie, pour avoir une altération ferrallitique d'un granite calco-alcalin sur 1 m d'épaisseur ; ceci tendrait à prouver que les déformations du socle qui ont suivi, entraînant la destruction de cette surface, ne se seraient produites que très tardivement à la fin du Tertiaire.

Une nouvelle surface se crée qui va subir les actions de la phase ferrallitique en même temps que l'on va tendre, après le remplissage du bassin par les sédiments, à la formation d'un nouveau lac qui ceinture le massif central tchadien et borde les massifs du pourtour (Ouaddaï, Ennedi ...). Ce lac qui constitue le niveau de base entretient une nappe de faible profondeur qui limite la pédogenèse et est à l'origine d'un horizon à concrétions ferrugineuses ou cuirassé. Dans le sud (Baïbokoum - Moundou - Doba), ainsi que sur tout le pourtour de l'immense cuvette, des cuirasses ferrugineuses occupent aussi de larges vallées.

Les buttes de sols rouges observées autour du massif central tchadien sont les témoins de cette première surface ferrallitique.

A la suite de mouvements tectoniques ou épirogéniques accompagnés d'un abaissement du niveau de base, il va y avoir ablation de cette surface ferrallitique. Une nouvelle surface se constitue à partir des produits d'érosion les plus grossiers laissés en place (éléments de cuirasse des sols ferrallitiques précédents, concrétions ferrugineuses ...).

Cette surface cuirassée, malgré les déformations importantes qu'elle a pu subir ultérieurement, se retrouve à des altitudes relativement constantes (420 à 500 m) dans la cuvette tchadienne. Sous la cuirasse épaisse de plusieurs mètres s'observe le niveau bariolé que nous sommes habitués de trouver en profondeur dans les sols ferrallitiques et qui est l'ancien horizon supérieur de ces sols tronqués par érosion.

Postérieurement à cette surface cuirassée s'est développée dans la partie méridionale du Tchad une nouvelle surface ferrallitique, la seconde. La phase ferrallitisante responsable de sa formation s'est poursuivie pratiquement jusqu'à nos jours avec sans doute des interruptions dues aux changements climatiques intervenus (alternance pluviaux-arides) qui ont eu aussi pour conséquence plusieurs rajeunissements successifs de cette surface ferrallitique.

La phase ferrallitisante paraît actuellement stoppée dans la cuvette tchadienne, même dans la partie sud, la plus arrosée. En effet les types de substances organiques produits sous un tel climat en liaison avec la végétation ne correspondent pas à ceux observés (acides humiques bruns et fulviques très largement dominants dès la surface) sous des pluviométries plus élevées où la ferrallitisation est bien la pédogenèse actuelle. D'autre part le démantèlement en cours de cette deuxième surface ferrallitique donne des sols de couleur claire très lessivés en fer et argile où se notent en profondeur des concrétionnements (sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions).

Cette phase ferrallitisante a cessé dans le sud de la cuvette tchadienne à une période assez récente, sans doute à la fin du dernier pluvial, plus anciennement lorsque nous remontons en latitude et peut-être au début du Quaternaire pour ce qui est des piedmonts du massif central tchadien et du Ouaddaï, où se retrouvent des témoins de la surface cuirassée encore très abondants sur les coupures IGN 1/200 000 de Mangalmé - Am Dam, mais peu observés plus au Nord (quelques exemples au nord d'Arada).

4.2. PHASE FERRUGINISANTE

En sol exondé relativement bien drainé, cette phase a fait suite à la précédente sur les piedmonts des massifs, affectant les produits du démantèlement du socle ou ceux des sols précédents. Son aire d'extension sur les sédiments les plus anciens est inconnue, car ceux-ci ont été postérieurement érodés, transportés. Nous pouvons penser cependant qu'il a du se former

des sols autres que ceux que nous voyons de nos jours sur les piedmonts du massif central tchadien et du Ouaddaï, à la fin de la phase ferrallitisante en ces régions. Quelques vestiges subsistent, notamment sur le pourtour de ce dernier massif. Nous avons ainsi relevé en différents endroits, notamment à l'est de Biltine (pluviométrie 350 mm), des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions ferrugineuses.

La phase ferruginisante s'est marquée de façon différente sur chacune des séries sédimentaires.

4.2.1. Formations anciennes remaniées

Elles sont de deux types.

1 - Les premières dérivent après faible transport des formations continentales terminales dont elles conservent la majorité des caractères (minéraux lourds, type d'argile, caractères physico-chimiques,...). Elles s'observent directement en contact ou dans le voisinage des surfaces ferrallitiques et elles ont pu subir des ferruginations successives au Quaternaire avec un effet cumulatif, ou c'est l'empreinte de la phase ferruginisante la plus forte que nous percevons, ou bien encore c'est l'empreinte de la dernière de ces phases si l'on veut admettre que chaque pluvial a amené l'érosion partielle ou totale des sols préexistants.
Nous pencherions pour la dominance d'un effet cumulatif sans nier cependant les phénomènes d'érosion consécutifs à chacun des pluviaux.

Les sols qui se sont formés sur ces formations anciennes remaniées, s'ils ont pu subir des actions d'hydromorphie par suite de fluctuation de nappe, sont avant tout marqués par la pédogenèse ferruginisante. Ce sont ceux qui apparemment sont les plus évolués de ces formations anciennes (lessivage important de l'argile et du fer par entraînement vertical ou oblique).

2 - Les secondes dérivent, après un transport plus ou moins long, des sédiments continentaux terminaux (sud du Tchad) ou continentaux terminaux et paléozoïques (nord du 12è parallèle). Elles sont de texture plus sableuse et les caractères des vieilles séries dont elles tirent leur origine sont peu visibles. Ainsi l'on trouve souvent : un mélange de kaolinite - montmorillonite - illite; un complexe plus saturé ...
Les sédiments primitivement de texture diverse ont été lavés, triés, et ce sont des formes très sableuses que l'on voit souvent, comme dans le premier delta du Chari.
Ils ont subi plusieurs pédogenèses successives, mais relativement courtes qui ont alterné, pour certains d'entre eux, avec des phases d'immersion et des remaniements éoliens.

La pédogenèse est plus marquée dans le Sud qu'au Nord. C'est une pédogenèse de pluvial, donc assez agressive. Elle a donné dans ces sédiments sableux :

- une ferruginisation diffuse marquée par une couleur beige très faiblement colorée d'ocre ou de rouge;
- un léger lessivage vertical de l'argile avec ventre d'accumulation.

4.2.2. Série sableuse récente

Elle s'est déposée encore plus tardivement lors de l'avant-dernier pluvial, au début de celui-ci, pour les sédiments des régions sud qui forment des alignements diversement orientés constituant les bourrelets d'anciens cours d'eau dans des dépressions inondées (bassin du Moyen Logone - Bassin des Bahrs Aouk, Keïta, Salamat); au plus fort du pluvial à l'est de Fort-Lamy où elle forme un second delta du Chari.

Au sud, les sédiments sont constitués de sables quartzeux et feldspathiques pris aux formations continentales terminales et aux massifs, tandis que ceux du second delta sont formés d'une fraction fine sableuse parfois micacée, provenant soit du Sud, soit du remaniement des formations sédimentaires anciennes remaniées du Nord très éolisées.

Dans l'est du Tchad, il s'agit de sédiments prélevés aussi aux formations sédimentaires anciennes et aux massifs et déposés dans des dépressions ou vallées.

Dans les trois cas, la fraction argileuse est un mélange de kaolinite - illite - montmorillonite, avec dominance de l'une d'entre elles.

Les minéraux lourds sont tantôt du 1er groupe (apports très importants des formations anciennes ou continentales terminales) ou du 2ème groupe avec souvent de la hornblende (apports en provenance des massifs).

Les sédiments des régions sud ont été submergés après leur dépôt au plus fort du pluvial ou tout au moins ont subi des actions de nappe très importantes dès cette période; actions qui se sont poursuivies jusqu'à nos jours. Les sols vont présenter un profil de sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions ferrugineuses, sans ventre d'accumulation sur les parties topographiquement les plus hautes, un profil de sol halomorphe à alcalis lessivé ou non ou de sol hydromorphe en se rapprochant des dépressions.

Les sédiments constituant le 2è delta du Chari n'ont été émergés que très tardivement à la fin du pluvial. On constate d'une façon assez générale que ces sols sont peu ou pas rubéfiés.

Les phénomènes de ferruginisation ne se sont donc principalement marqués sur la série sableuse récente que dans la partie sud du territoire. Ailleurs, lorsqu'ils existent, ils doivent être considérés comme un caractère hérité des séries anciennes remaniées, soit à la suite d'un transport éolien (accolements sableux aux massifs granitiques dans l'est du Tchad), soit parce que le remaniement et le transport fluviatile ont été faibles (erg bordant le lac Fitri au sud et sud-ouest).

4.3. PHASE STEPPISANTE

Si des phases steppisantes très anciennes ont pu se produire lors d'arides, nous n'en retrouvons nulle part la marque.

Actuellement deux séries sédimentaires (formations anciennes remaniées - série sableuse récente) ont subi et subissent encore cette pédogenèse dans la partie nord du pays.

Tandis que la première série conserve la marque d'une ferruginisation ancienne (sols brun-rouge), la seconde offre des sols bruns classiques sur des matériaux de couleur très claire. La phase steppisante s'établit donc à la fin de l'avant-dernier pluvial en même temps qu'émergent les sédiments de la série sableuse récente. Elle durera jusqu'à la période actuelle. Le cordon sableux nord est également constitué par ces sols bruns. La steppisation se produit jusqu'à des latitudes très méridionales sur des dépôts récents (couverture sableuse sur le grand cordon sud, à l'est de Bokoro - Pluviométrie 650-700 mm).

Sur les formations anciennes préalablement rubéfiées, elle est souvent masquée par les caractères hérités, mais se perçoit par endroits jusqu'à l'isohyète 700 mm.

4.4. PHASE HYDROMORPHE

En milieu exondé, les phases hydromorphes sont responsables de différents niveaux concrétionnés ou cuirassés ou d'horizons tachetés profonds.

Nous avons vu que la surface cuirassée ancienne a été interprétée comme le résultat d'une nappe ancienne ayant fluctué primitivement à la base des profils de sols ferrallitiques. L'érosion a mis à jour par la suite ces horizons qui se sont trouvés consolidés, puis progressivement enrichis en milieu mal drainé. Cette cuirasse ancienne fin Tertiaire - début Quaternaire a par la suite servi de source de fer pour la création de nouvelles cuirasses, après creusement de nouveaux profils d'équilibre répondant à des changements du niveau de base. Ces cuirasses de talwegs peuvent se trouver encore en liaison avec la nappe qui a favorisé leur formation, ou bien celle-ci peut avoir disparu. On peut donc concevoir de multiples niveaux cuirassés en fonction des positions de la nappe générale au cours des pluviaux du Quaternaire, ou en fonction de nappes particulières créées localement par des conditions de mauvais drainage. Une nappe doit cependant demeurer pendant des périodes assez longues pour que les conditions d'enrichissement en

fer soient remplies. Les nappes particulières locales n'ont pu donner que des accumulations de faibles étendues, comme celles que l'on observe dans les talwegs du Sud où plusieurs niveaux cuirassés peuvent exister et correspondent à l'enfoncement progressif des vallées.

Un fait milite pour l'ancienneté relative d'un grand nombre de cuirasses, c'est que celles-ci ne sont pas observées dans les séries sédimentaires récentes de la cuvette.

En conclusion, nous dirons que les actions d'hydromorphie ont donné :

- dans l'arrière-pays (sud du Tchad), dans les séries sédimentaires les plus âgées (continentales terminales, formations anciennes remaniées) et dans des séries récentes :
  - . une surface cuirassée générale (fin Tertiaire-début Quaternaire);
  - . une ou plusieurs cuirasses ou niveaux gravillonnaires correspondant aux nappes de pluviaux anciens ou à l'enfoncement des talwegs lors de l'établissement de nouveaux profils d'équilibre;
- dans la cuvette elle-même, des horizons à pseudo-gley et de légers concrétionnements. Le stade de cuirassement est rarement atteint, que ce soit pour les séries anciennes ou récentes.

4.5. PHASE HALOMORPHE

Toujours en milieu exondé, les phénomènes d'halomorphie ne vont se manifester que pour un drainage déficitaire pendant toute l'année ou une partie seulement pendant laquelle l'évaporation est prépondérante par rapport au drainage. Ceci va favoriser des remontées des solutions du sol et leur accumulation à des profondeurs variables fonction de la frange capillaire. Ces phénomènes ont dû avoir une grande importance pendant les diverses phases arides dans la mesure où subsistaient des plans d'eau ou des nappes. Or les vieilles séries semblent peu marquées par l'halomorphie et ce sont les séries sédimentaires les plus récentes qui sont les plus touchées et notamment la série alluviale subactuelle à actuelle. Pour cette série, l'halomorphie croît rapidement en latitude en même temps que s'accentue l'aridité des conditions climatiques.

Les conditions optima pour la favoriser semblent celles qui règnent actuellement à la latitude de Fort-Lamy :

- sols peu drainants laissant subsister des mares ou des nappes temporaires de faible profondeur pendant une partie de l'année;
- associations multiples de dépressions et de bourrelets exondés. La pluviométrie, qui serait suffisante ici pour favoriser le lessivage du sol en milieu bien drainé, est insuffisante pour créer la submersion totale.

La série sableuse récente présente de même des sols halomorphes, mais ceux-ci sont plus localisés, principalement en bordure des dépressions. La granulométrie ne favorise pas comme pour la série précédente des phénomènes de remontée; aussi s'observent-ils dans les zones de contact dépression-butte et dans les sols où la texture est la plus fine.

Les formations anciennes remaniées présentent peu d'exemples d'halomorphie, les formations continentales terminales n'en présentent aucun à notre connaissance.

L'halomorphie conduit ici à des sols à alcalis non lessivés ou lessivés (solonetz-solonetz solodisés).

4.6. LES PHASES HYDROMORPHE - VERTIQUE - DE CARBONATATION ET HALOMORPHE DANS DES SEDIMENTS INONDES DE TEXTURE FINE

Diverses pédogenèses marquent les sédiments de texture fine déposés pendant des périodes lacustres ou marécageuses après leur exondation.

4.6.1. Phases d'hydromorphie et de carbonatation

L'hydromorphie est la première qui se soit produite après l'immersion progressive du sédiment, liée au retrait des lacs ou à leur assèchement. Des plus anciennes aux plus récentes, toutes les séries l'ont subie. Elle se poursuit encore soit à la suite d'inondation temporaire, semi-permanente, permanente, soit par engorgements plus ou moins profonds. Elle se traduit par la présence d'horizons à pseudo-gley ou à gley.

Des phases d'immersion et d'exondation se sont succédées plusieurs fois au cours du Quaternaire pour les séries les plus anciennes. Les phénomènes de carbonatation dans le Sud apparaissent d'autant plus intensément que la série est plus âgée. La nodulation calcaire est très importante dans les sols argilo-sableux de la série fluvio-lacustre ancienne, faible à nulle dans les sols argileux de la série lacustre récente. Au nord de Fort-Lamy, où les conditions d'aridité sont plus fortes, les sols de cette dernière série présentent de nombreux nodules. La série lacustre actuelle émergée dans les polders montre des phénomènes de carbonatation très rapides (accumulation diffuse ou en amas non encore bien consolidés).

Le processus de carbonatation apparaît donc lié à l'hydromorphie et en même temps à l'aridité du climat.

4.6.2. Phase vertique

Elle fait suite à l'hydromorphie sous ces climats dès que l'alternance saison sèche-saison des pluies se marque mieux et que les conditions climatiques permettent pendant la première une dessiccation importante du

sol sur une forte épaisseur. Il y a conservation du type d'argile hérité du sédiment. Les argiles de la série lacustre actuelle ont des compositions voisines de celles des deuxième et troisième transgressions (kaolinite - montmorillonite - illite).

Les sédiments de la série fluvio-lacustre ancienne de la dépression des Bahrs Aouk - Keïta - Salamat, ceux localisés sur le pourtour et en indentations dans le massif central tchadien, présentent des caractères vertiques accusés, une importante nodulation, des argiles de type 2/1 (montmorillonite - illite) abondantes. Ceux du Moyen-Logone ont le microrelief "gilgaï", très accentué, la forte nodulation, mais peu à pas de minéraux 2/1 et une hydromorphie plus développée. Cette dominance de kaolinite est peut-être héritée des formations continentales terminales dont ces sédiments proviennent dans cette région. Peut-être y a-t-il eu destruction des minéraux 2/1 postérieurement à la mise en place dans une phase humide et bien drainante? Les limons qui se déposent actuellement sur ces argiles contiennent des quantités importantes d'illite et de montmorillonite.

Les phénomènes de carbonatation continuent à se développer au cours de la phase vertique. La vertisolisation, la carbonatation se sont donc produites pendant les inter-pluviaux, au cours de phases d'assèchement pendant lesquelles devaient subsister des nappes de faible profondeur.

4.6.3. Phase halomorphe

Tous les vertisols contiennent des quantités variables de sels solubles, ceci sans jamais ou bien très rarement atteindre de valeurs très fortes. De même, les quantités d'ions Na fixés sur leur complexe saturé peuvent être élevées. C'est généralement dans des vertisols de bordure de buttes ou de bourrelets exondés que ces caractères sont les plus accusés. L'observation de ce phénomène est de plus en plus fréquente du Sud vers le Nord et au-delà de certaines données climatiques (P = 300-400 mm), les phénomènes d'halomorphie l'emporteront en même temps que disparaîtra le caractère vertique par suite des changements de structure intervenus dans les sols. Le stade vertique n'est cependant pas toujours nécessaire pour passer du sédiment peu évolué au sol halomorphe. Nous avons décrit précédemment les processus de l'alcalisation et de son développement.

Des sédiments fluvio-lacustres ou lacustres vont présenter des caractères d'halomorphie très accusés. Ce sont ceux de la série fluvio-lacustre des "regs" et ceux de buttes exondées de la série fluvio-lacustre à nodules calcaires. Dans ce second cas, on comprend le rôle qu'on pu jouer ces buttes au milieu des zones d'inondation. Celui de cheminées ou de mèches par où se faisaient d'importantes aspirations qui ont favorisé des concentrations des solutions du sol sur leur surface. Ces phénomènes qui sont anciens jouent encore actuellement.

Les sols des "regs" se présentent, eux, en surfaces planes et continues s'appuyant généralement à un massif (massif central tchadien - Ouaddaï) et évoquent des lignes de rivage de lacs anciens. Leur évolution serait contemporaine de celle des étendues lacustres et remonterait donc à la seconde transgression. Sont-il passés par un stade vertique, comme les

dépôts de même âge, mais exondés plus tardivement? Nous ne le pensons pas, car ils présentent très rarement la nodulation caractéristique, mais fréquemment des amas calcaires de formes diverses comme ceux que nous sommes habitués à trouver dans les sols à alcalis.

5. ESSAIS DE DATATIONS DES PEDOGENESES ET DES SOLS

Les tableaux des pages 297 et 318 nous indiquent la succession vraisemblable des périodes pluviales et arides au cours du Quaternaire récent.

Mis à part les dépôts du Continental Terminal, les formations les plus âgées que nous voyons dans la cuvette tchadienne (formations anciennes remaniées) malgré un dépôt ancien antérieur à 30 000 ans BP n'ont subi de pédogenèse qu'à une période relativement récente puisqu'elles se sont trouvées immergées pendant des temps très longs.

Dans le Sud (1er delta du Chari), ces sédiments après leur dépôt au pluvial P_1 ont évolué de la façon suivante :

- remaniements éoliens avec formations des ergs 1 et 2 et faible pédogenèse aux interpluviaux A_1 A_2;
- immersion au pluvial P_2;
- forte pédogenèse aux pluviaux P_3 P_3' P_4.

Au nord du 13è parallèle pour ces mêmes formations, le remaniement éolien a été très important aux interpluviaux A_1 (?) A_2, moindre pour A_3. Les pédogenèses se sont effectuées pendant une partie de P_3 sans doute avant l'immersion totale en P_3', puis en P_4. Dans cette région, le jeu de ces processus s'est trouvé compliqué par une topographie très accidentée de dunes et d'interdunes.

La pédogenèse au cours des pluviaux P_3 P_3' s'est traduite par une ferruginisation des sols (légère rubéfaction, lessivage peu accusé de l'argile - sols ferrugineux peu lessivés) ceci aussi bien au sud qu'au nord du 13è parallèle. La pédogenèse du pluvial P_4 s'est marquée par une ferruginisation au Sud, une steppisation au Nord. C'est la combinaison des deux pédogenèses (P_3 - P_4) qui a conduit à la formation des sols brun-rouge subarides dans cette dernière région.

Les sédiments de la série sableuse récente déposés au pluvial P_3 ont subi dans cette même région Nord les pédogenèses steppisantes du pluvial P_4 et de l'actuelle qui ont mené à la formation de sol brun subaride. Certains de ces sédiments avaient subi un remaniement éolien (erg 3) lors de l'interpluvial A_3. Dans le Sud le pluvial P_4 plus marqué a conduit à des

ferruginisations en même temps que se produisaient d'importants phénomènes d'hydromorphie (sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux ou à pseudo-gley, sols hydromorphes).

Les sédiments de la série alluviale déposés très tardivement lors du pluvial P_4 (moins de 3 200 ans BP) n'ont commencé à évoluer qu'après leur émersion encore plus récente. Ils n'en ont pas moins subi souvent une forte pédogenèse par suite des conditions topographiques et climatiques dans lesquelles ils se sont trouvés et se trouvent encore (sols halomorphes à alcalis non lessivés ou lessivés - sols hydromorphes - sols peu évolués).

Les sédiments fluvio-lacustres ou lacustres argilo-sableux ou argileux datent de même de période plus ou moins ancienne.

Les sédiments fluvio-lacustres anciens déposés au pluvial P_2 ont évolué de deux façons différentes en fonction de leur situation topographique ancienne et actuelle.

Ceux constituant les rivages d'anciens lacs ou d'étendues marécageuses ("regs") ont eu leur principale évolution pendant cette période (sols halomorphes à alcalis - solonetz, solonetz solodisé). Par la suite, ils ont dû subir seulement des rajeunissements successifs de leur surface par érosion.

Il est remarquable qu'ils soient mieux conservés aux latitudes les plus septentrionales (piedmont du Ouaddaï) que sur le pourtour du massif central tchadien où la pluviométrie a été plus importante. L'évolution de ces mêmes dépôts, mais alors mis en place dans des fonds de lacs ou de marécages, a été différente. Elle s'est produite lors des assèchements pendant les arides A_2 et A_3 et s'est continuée jusqu'à l'époque actuelle avec des phases d'arrêts ou d'évolution moindres lors des pluviaux où ils ont pu se trouver alors à nouveau immergés (vertisols à abondants nodules calcaires).

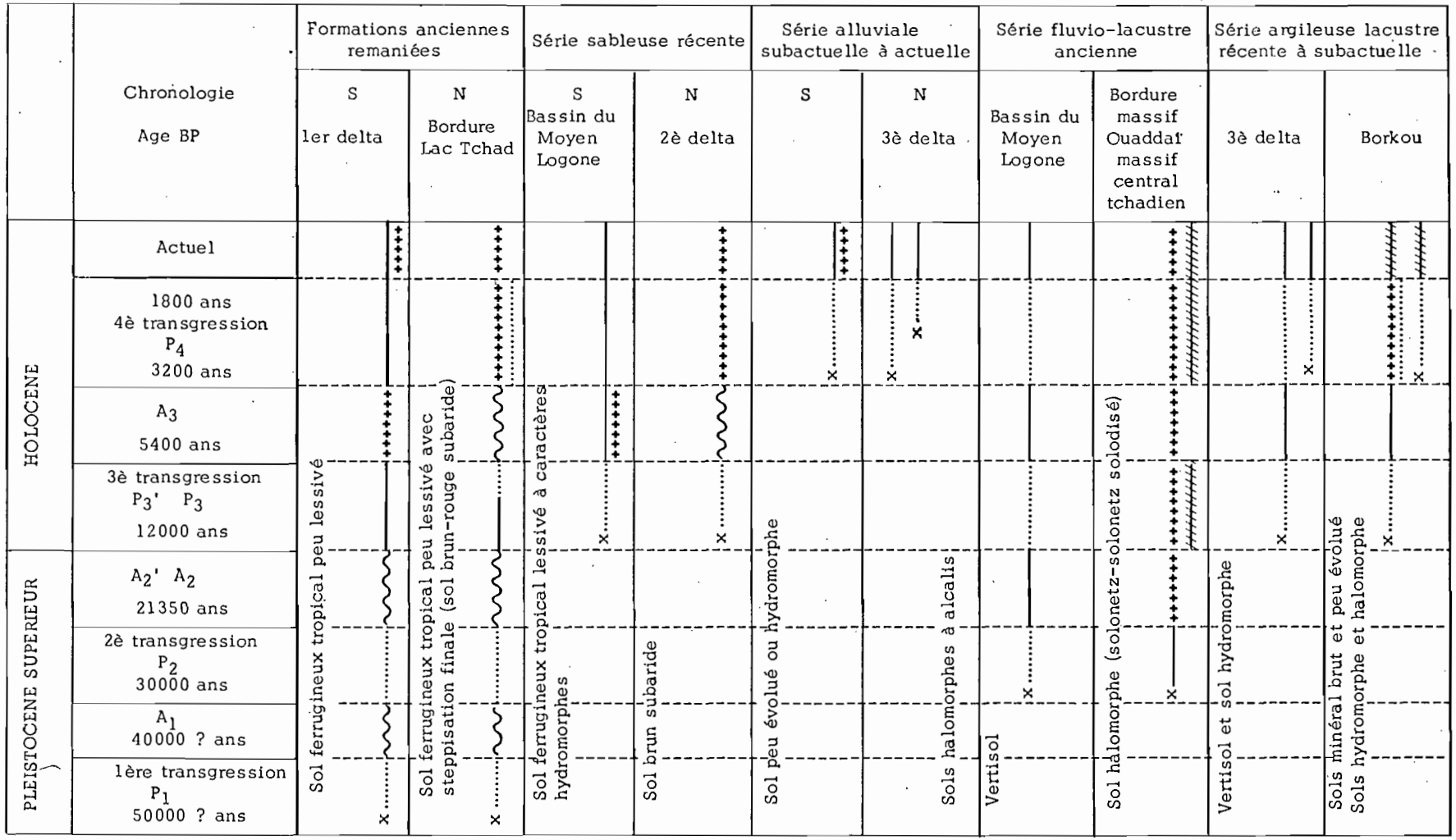
L'évolution des sédiments argileux récents à subactuels a été parallèle à celle des précédents après leurs dépôts aux pluviaux P_3 P_4. Il est important de noter que la nodulation calcaire est faible à nulle dans les parties subissant une forte inondation par la crue des fleuves (vallée du Moyen-Logone, ...), alors qu'elle est très forte au nord de Fort-Lamy où l'inondation est moindre et les conditions climatiques plus arides (sols hydromorphes - vertisols).

Dans les polders de création récente (10 ans), les phénomènes de carbonatation sont déjà très accusés, tandis que l'halomorphie se manifeste par place (sols salins - sols à alcalis non lessivés - sols hydromorphes humifères).

Dans le Borkou, la série argileuse récente, une argile diatomitique, a subi dans un passé plus ou moins lointain, des phénomènes de carbonatation et de salure lors d'une ou plusieurs phases d'assèchement. Les fortes teneurs en silice colloïdale, malgré des pourcentages importants d'illite et de montmorillonite, n'ont pas permis ici le développement de vertisols. Les sédiments et les sols en sont actuellement à une phase d'érosion éolienne dans les parties dénudées, tandis qu'ils se conservent ou se développent

PEDOGENESE DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

RECENTES



x Période de dépôt du sédiment

.... Sédiments immergés

____ Pédogenèse accusée

~~~ Formation d'erg

++++++ Pédogenèse peu accusée

////// Phase érosive - surface rajeunie et pédogenèse très peu accusée

P Pluvial

A Aride ou interpluvial
~~~

dans les dépressions à nappe peu profonde où sont implantées les palmeraies (sols peu évolués - sols minéraux bruts - sols hydromorphes et halomorphes).

Le tableau précédent résume ces différentes pédogenèses au cours du Quaternaire récent.

Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés du Sud (1er delta du Chari) ont commencé à subir leur évolution vers 12 000 ans BP, ceux du Nord ont eu une évolution identique mais plus courte au début de ce même pluvial avant d'être submergés pour subir une phase steppisante après leur exondation (sol brun-rouge subaride).

Les sols bruns subarides du second delta du Chari ont subi cette même phase steppisante qui a débuté vers 3 000 ans BP.

Les sols halomorphes formés sur la série alluviale, très jeunes ont évolué seulement après leur exondation (1 800 ans BP).

Les vertisols formés sur la série fluvio-lacustre ancienne ont eu des évolutions épisodiques au cours des arides (21 000 - 12 000 ans BP - 5 400 - 3 200 ans BP - période actuelle). Ceux formés sur la série lacustre récente à subactuelle ont subi leur évolution au cours des deux dernières ou de la dernière période.

6. INDUSTRIES PREHISTORIQUES ET PEUPLEMENT DE LA CUVETTE TCHADIENNE

Si les vestiges d'industries préhistoriques sont abondants dans le nord du territoire du Tchad (Ennedi - Tibesti), il n'en est pas de même dans la partie centrale et sud.

Le Tibesti est riche quant à lui en industrie paléolithique (Chelléen, Acheuléen abondant au sud de l'Emi Koussi), tandis que l'Ennedi contient surtout des restes d'industries néolithiques anciennes à supérieures et d'abondantes gravures rupestres (HUARD 1963 - BAILLOUD 1960 - LEBEUF 1963). La partie centrale et sud du Tchad n'a donné lieu jusqu'à présent à aucune découverte de ce genre si l'on excepte celles d'ABADIE, BARBEAU et COPPENS (1).

(1) V.COPPENS (1961) décrit un australopithèque découvert sur un dôme villafranchien inférieur dans le Bahr el Ghazal où avait été trouvée précédemment une faune de vertébrés (ABADIE-BARBEAU-COPPENS,1959).

Un gisement proche de Maroua (Cameroun) dans un petit massif a fourni des bifaces qui dateraient de la fin de l'Acheuléen (2).

L'absence ou la rareté des industries préhistoriques dans ces régions du Tchad s'explique par le fait que les colonisations ont dû être contemporaines des retraits successifs des lacs (3) en cours de transition pluvial-aride. Des arides comme ceux qui ont conduit aux ergs 1 et 2 ne devaient pas favoriser le peuplement des régions où ils se manifestaient.

Le dôme villafranchien inférieur de Koro-Toro où fut retrouvée une faune de vertébrés et un australopithèque est l'exemple inverse. Ce dôme primitivement recouvert par des dépôts récents aurait été remis à jour lors du percement de la dépression du Bahr el Ghazal. Le fait d'y trouver conjointement éléphant, hippopotame, crocodile, hyène, ... peut s'interpréter comme la conséquence d'une submersion progressive d'une surface résiduelle où la faune était venue se réfugier.

L'absence ou la rareté d'industrie préhistorique au voisinage des massifs du Sud s'explique également par des phases d'érosion très violentes liées aux pluviaux du Quaternaire. Elles ont amené un rajeunissement des surfaces, tandis que les matériaux (sédiments - vestiges d'industrie) arrachés allaient combler la cuvette.

Tout récemment cependant, des restes d'industrie s'apparentant au paléolithique ont été trouvés à l'est de Koro-Toro sur le rivage 320 m par COPPENS, COURTIN et SCHNEIDER ainsi que des pièces néolithiques dans les Bas-Pays (SCHNEIDER 1967).

(2) Nous avons trouvé nous-même au cours de 15 années passées au Tchad :
- un seul biface plus ancien et très rudimentaire à Gamba Toubouri au sud-est de Fianga, dans une région où la surface cuirassée générale est en affleurement;
- un galet ayant servi de percuteur dans un profil du grand cordon sableux à l'est de Bokoro.

(3) Un exemple de cette colonisation lors de la régression des lacs nous est fourni par SCHNEIDER (1967) qui a pu suivre dans les Bas-Pays du Tchad l'implantation des populations lors du retrait du lac de la cote 320 m.
- Lac à la cote 320 m (antérieur à 5 000 ans BP). Néolithique moyen.
- Lac 250-240 m. Néolithique final et fer ancien.
- Fin du lacustre avec des mares encore importantes : période haddadienne.
- Période actuelle : rares industries, puits profonds. Départ des Krédas et de leurs troupeaux au 17è siècle. Implantation de l'erg dans les Bas-Pays.

Toutes ces observations nous donnent dans leurs très grandes lignes les variations climatiques ayant existé entre ce centre de l'Afrique, le Tchad et la Méditerranée au cours du Tertiaire et du Quaternaire.

Un climat de type équatorial à tropical humide a régné dans toute cette partie de l'Afrique à une époque très avancée du Tertiaire. Il a régressé ensuite, mais s'est maintenu longtemps à des latitudes plus méridionales où ses effets sont masqués par les phases d'érosion liées à des mouvements épirogéniques et tectoniques au cours du Quaternaire ancien. BRUNEAU de MIRE et QUEZEL (1950) signalent ainsi, parmi la flore résiduelle du Tibesti, des espèces équatoriales, végétaux supérieurs et mousses, mais aussi des espèces de la flore méditerranéenne comme l'avaient déjà indiqué MAIRE et MONOD (1949). QUEZEL et MARTINEZ (1958) ont de même montré par des études de palynologie sur les diatomites du Borkou déposées lors d'un des derniers pluviaux du Quaternaire, l'existence dans ces régions de la flore méditerranéenne (Juniperus, Ephedra, Artemisia) sur le pourtour des lacs. La région étant occupée par une steppe à armoise et à Ephedra avec quelques genevriers et Acacia (1), tandis que cèdres, pins et chênes se trouvaient plus au Nord ou seulement sur le massif du Tibesti. La présence d'Acacia flava et raddiana et d'un Ficus indique à cette époque l'interpénétration en ces régions des domaines sahélien et méditerranéen.

Si des similitudes climatiques importantes (alternance de pluviaux et d'arides) ont existé au Quaternaire entre le domaine méditerranéen et le centre de l'Afrique, les sols formés dans chacune de ces régions apparaissent différents.

Ceci tient d'abord à des conditions climatiques non analogues entre ces deux domaines, telles des pluies d'hiver, des températures relativement basses lors des glaciations en Afrique du Nord, et aussi au fait que les formations sédimentaires à l'origine des sols sont riches en calcaire en pays méditerranéen. Celui-ci a donné des accumulations diverses par

(1) Végétation voisine de celle qui se rencontre actuellement dans le sud tunisien.

lessivage vertical ou oblique, par action de nappe, par remontée des solutions du sol ... (accumulation diffuse, nodules, croûte ...). Des phénomènes de rubéfaction apparaissent dans ces régions dans les sols fortement lessivés en CO3 Ca mais dont le complexe a encore une saturation élevée en ions Ca. Les complexes saturés, les pH neutres de ces sols ont favorisé sous les climats relativement secs des périodes interpluviales la polymérisation des substances humiques (acides humiques gris et brun) qui ont donné en milieu méditerranéen une importance particulière aux sols isohumiques (sol chatain, chatain-rouge, brun, brun-rouge ...).

C'est la convergence de ces deux pédogenèses (phénomènes de migration et d'accumulation du calcaire en phase humide mais aussi sèche; développement de substances humiques stables fortement polymérisées en phase semi-humide à sèche) nées des alternances climatiques au cours du Quaternaire qui est la cause de l'apparente complexité des sols de la région méditerranéenne.

A l'inverse au sud de la bande saharienne actuelle, les sédiments qui ont donné naissance au sol contiennent peu ou pas de calcaire. Dans le milieu subtropical c'est le fer qui donnera par suite de lessivage vertical ou oblique, par action de nappe, des accumulations diffuses, des concrétionnements, des cuirassements; ceci pendant les périodes à très fortes pluviométries tandis que pendant les phases sèches, les accumulations formées seront consolidées, durcies, indurées sous l'action des agents atmosphériques. Au cours de ces dernières périodes se développeront, après assèchements des lacs ou des étendues marécageuses, les vertisols, les sols halomorphes en même temps que les phénomènes de carbonatation prendront une importance plus considérable mais seront uniquement limités aux sols à mauvais drainage interne en position topographique basse.

La zonalité que l'on observe au sud du Sahara (passage successif des sols bruns et brun-rouge subarides à des sols ferrugineux non lessivés et lessivés, puis à des sols ferrallitiques enfin) n'est que le reflet partiel des conditions climatiques actuelles mais surtout la manifestation de périodes pluviales anciennes dont les pédogenèses successives ont pu se cumuler sans se contrarier (sols ferrallitiques des régions sud) ou, à l'inverse, s'additionner bien qu'étant différentes. Ainsi au nord du 13è parallèle la superposition d'une pédogenèse steppisante sur une ferruginisation ancienne a abouti à la formation de sol brun-rouge subaride.

On voit donc ici l'extrême complexité qu'il y a à définir l'apport de la pédogenèse actuelle dans les différentes régions de la zone subtropicale. Celle-ci ne peut être observée que sur les sédiments les plus récents. Elle se traduit sur ceux-ci, dans les parties les plus méridionales du Tchad, par une évolution souvent faible (sols peu évolués) tandis que dans la partie nord des pédogenèses à évolution rapide (hydromorphie, halomorphie)marquent souvent les derniers sédiments déposés.

B I B L I O G R A P H I E

ABADIE (J.) - BARBEAU (J.) - 1958.- Aperçu sur l'hydrogéologie. in Le Tchad. Chambre de Commerce, Fort-Lamy, pp. 31-36, carte.

ABADIE (J.) - BARBEAU (J.) - COPPENS (Y.) - 1959.- Une faune de vertébrés villafranchiens au Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 248, pp. 3328-3330.

ABADIE (J.) - FRANZ (H.) - 1957.- Contribution à la connaissance de la stratigraphie et climatologie du Quaternaire dans le bassin du Tchad (inédit).

ADACHI (M.) - 1964.- a. On the eluviation and accumulation of sesquioxides by fulvic acid (Part 1). On the interaction between fulvic acid and sesquioxide soils. J. Sci. Soil Manure, Tokyo, vol.35, pp. 29-32.
b. On the eluviation and accumulation of sesquioxides by fulvic acid (Part 2). On the behaviour of fulvic acid and sesquioxides in model profiles. J. Sci. Soil Manure, Tokyo, vol.35, pp. 139-142.

ALEKSANDROVA (L.N.) - NAD (M.) - 1958.- The nature of organo-mineral colloids and methods of their study. Sov. Soil Sci., pp. 1100-1105.

ALEXANDER (L.T.) - CADY (J.G.) - 1962.- Genesis and hardening of laterite in soils. U.S.D.A., Techn. Bull., n°1282, 90 p.

ALIMEN (H.) - 1957.- Sables quaternaires du Sahara nord occidental (Saoura-Ougarta). Publ. Serv. Carte géol. Algérie (n.s.). Bull.n°15, 207 p., 89 fig., 8 pl., 11 tabl.

ALIMEN (H.) - 1966.- Préhistoire de l'Afrique. Boubée, Paris; 551 p.

ALIMEN (H.) - BEUCHER (F.) - CONRAD (G.) - 1966.- Chronologie du dernier cycle pluvial-aride au Sahara nord occidental. C.R. Acad. Sci., Paris, T 263 D, pp. 5-8.

ALIMEN (H.) - CHAVAILLON (J.) - CONRAD (G.) - 1959.- Formations arides et paléosols quaternaires au Sahara nord-occidental. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 104-105.

ALIMEN (H.) - CHAVAILLON (J.) - DUPLAIX (S.) - 1964.- Minéraux lourds des sédiments quaternaires du Sahara nord occidental. Publ. Centre de Recherches sur les zones arides. Sér. Géol. n°4. CNRS, Paris, 73 p.

AMOSSE (A.) - 1941.- Diatomées du Sahara septentrional et central. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N., T 32, n°4, pp. 126-152.

AMOSSE (M.) - 1934.- Note sur les diatomées fossiles du Tibesti et du Djourab. in Mission Tibesti. Mém. Acad. Sci., T 61, 2è sér., pp. 143-145.

ANNE (P.) - 1945.- Dosage rapide du carbone organique des sols. Ann. Agr., 15, n°2, pp. 161-172.

ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DE LA FRANCE D'OUTRE MER. 1949-1960. ORSTOM, Paris.

ARAMBOURG (C.) - 1951.- Les limites et les corrélations du Quaternaire africain. Int. Geol. Congr., XVIII° session. 1948, Great Britain, part XI, pp. 49-54.

AREND (J.P.) - 1932.- La genèse des oolithes. C.R. Acad. Sci., Paris, T 194, pp. 736-737.

AREVALO (P.) - ARRIBAS (A.) - 1960.- Estudio mineralogico de los sedimentos cuaternarios actuales de la region occidental del Sahara meridional español. Estud. geol., vol.XVI, n°4, pp. 163-185.

AUBERT (G.) - 1941.- Les sols de la France d'Outre Mer. Imp. Nat., Paris, 89 p.

AUBERT (G.) - 1950.- Observations sur la dégradation des sols et la formation de la cuirasse latéritique dans le nord-ouest du Dahomey (A.O.F.). Congr. Int. Sc. sol. 4. 1950. Amsterdam, vol.III, pp. 127-128.

AUBERT (G.) - 1954.- a. Les sols latéritiques. Congr. Int. Sc. sol. 5. 1954. Léopoldville, vol. 1, pp. 103-118.
b. Les sols hydromorphes d'AOF. Congr. Int. Sc. sol. 5. 1954, Léopoldville, vol.IV, pp.447-450.

AUBERT (G.) - 1955.- Sur quelques problèmes de pédogenèse et de classification des sols abordés à Léopoldville. Août 1954. Bull. Assoc. Fr. Et.sol, n° 63, pp. 77-82.

AUBERT (G.) - 1957.- Cours de Pédologie professé à l'ORSTOM Paris (inédit).

AUBERT (G.) - 1959.- Influence de la végétation sur le sol en zone tropicale humide et semi-humide. in Rapports du sol et de la végétation. Masson, Paris, pp. 11-22.

AUBERT (G.) - 1960.- The phosphoric acid of the soils of tropical regions. Bull. Docum. Ass. int. Fabr. superph. n°27, pp. 3-14.

AUBERT (G.) - 1961.- Influence de divers types de végétation sur les caractères et l'évolution des sols en régions équatoriales et subéquatoriales ainsi que leurs bordures tropicales semi-humides. in Sols et végétation des régions tropicales. Travaux du colloque d'Abidjan. 1959. UNESCO. Recherches sur la zone tropicale humide. Paris, pp. 41-47.

AUBERT (G.) - 1962.- Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. in Les problèmes de la zone aride. Actes du colloque de Paris. UNESCO. Recherches sur la zone aride, XVIII. Paris, pp. 127-150.

AUBERT (G.) - 1963.- a. La classification des sols. La classification pédologique française. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., n°3, pp. 1-7.

b. Soil with ferruginous or ferralitic crusts of tropical regions. Soil Sci., 95, pp. 235-242.

AUBERT (G.) - 1964.- La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride. Sols afr., vol. IX, n°1, pp. 97-105.

AUBERT (G.) - 1965.- Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM (1965). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol.III, fasc.3, pp. 269-288.

AUBERT (G.) - 1966. Observations sur la classification des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. IV, n°4, pp. 89-90.

AUBERT (G.) - CAILLEUX (A.) - 1950.- Esquisse d'une étude des sols. Rev. gén. Sci., LVII, pp. 28-39.

AUBERT (G.) - DUCHAUFOUR (Ph.) - 1956.- Projet de classification des sols. Congr. Int. Sc. Sol. 6. 1956. Paris, vol.E, pp. 597-604.

AUBERT (G.) - FOURNIER (F.) - 1955.- Les cartes d'utilisation des terres. Sols afr., vol. III, n°1, pp. 96-109.

AUBERT (G.) - HENIN (S.) - 1945.- Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols. C.R. Acad. Sci., Paris, T 220, pp. 330-332.

AUBERT (G.) - LENEUF (N.) - 1960.- Essai d'évaluation de la vitesse de ferrallitisation. Int. Congr. Soil Sci., 7. 1960. Madison, vol.IV, pp. 225-228.

AUBERT (G.) - SEGALEN (P.) - 1965.- La classification des sols hydromorphes. in Réunion des pédologues de l'ORSTOM, 17-18 sept 1964. Bull. Bibliogr. Pédol., T XIV, fasc. 4, pp. 5-7.

AUBERT (G.) - SEGALEN (P.) - 1966.- Projet de classification des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol.IV, n°4, pp. 97-112.

AUBREVILLE (A.) - 1948.- Etude sur les forêts de l'A.E.F. et du Cameroun. S.T.A.T. Bull. scient. n°2, 132 p.

AUBREVILLE (A.) - 1949.- Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. Ed. Géogr. Mar. et Col., Paris, 352 p.

AUBREVILLE (A.) - 1950.- Flore forestière soudano-guinéenne. A.O.F.-Cameroun-A.E.F. Soc. Ed. Géogr. Mar. et Col., Paris, 523 p.

AUDRY (P.) - 1968.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000è. Feuille d'Am Timan. ORSTOM, n°31, Paris,

AUFRERE (L.) - 1928.- L'orientation des dunes et la direction des vents. C.R. Acad. Sci., Paris, T 187, pp. 833-835.

AUZEL (M.) - CAILLEUX (A.) - 1949.- Silicifications nord-sahariennes. Bull. Soc. Géol. Fr., 5, t XIX, pp. 553-559, 2 pl. h.t.

BACHELIER (G.) - 1963.- a.La vie animale dans les sols. Init. Doc. tech ORSTOM, n°3, 280 p.

b.Influence du climat sur les processus pédobiologiques de l'humification et de la déshumification. Pedobiologia, vol.2, n°2, pp. 153-163.

BAGNOULS (F.) - GAUSSEN (H.) - 1957.- Les climats biologiques et leur classification. Ann. Géogr., n°355, pp. 193-220.

BAILLOUD (G.) - 1960.- Les peintures rupestres archaïques de l'Ennedi (Tchad). L'Anthropologie, T.64, n°3-4, pp. 211-234.

BAKKER (E.M. VAN ZINDEREN) - 1961.- Pollen analysis and its contribution to the palaeoecology of the Quaternary in Southern Africa. in Ecological studies in Southern Africa. Ed. by D.H.S. Davis. Junk Publ., La Haye, pp. 24-34.

BAKKER (E.M. VAN ZINDEREN) - CLARK (J.D.) - 1962.- Pleistocene climates and cultures in North-eastern Angola. Nature, 196, pp. 639-642.

BALOUT (L.) - 1952.- Pluviaux interglaciaires et Préhistoire saharienne. Trav. Inst. Rech. Sah., T VIII, pp. 9-21.

BALOUT (L.) - 1953.- Essai de coordination des phénomènes géologiques, quaternaires et des industries préhistoriques en France, en Afrique du Nord et au Sahara. Congr. int. Sci. préhist. protohist., 3. 1950 Zurich, pp. 163-169.

BARBEAU (J.) - 1956.- a. Sondages et paléo-hydrographie au Chari-Baguirmi. Dir. des Mines et Géol. A.E.F., Fort-Lamy, 57 p.multigr., 10 pl.
b. Notice explicative de la feuille de Fort-Lamy. Dir. des Mines et Géol. A.E.F., Brazzaville, 34 p. carte au 1.000.000 è.

BARBEAU (J.) - 1959.- Quaternaire des abords orientaux du lac Tchad. C.R. somm. Soc. Géol. Fr., p.110.

BARBEAU (J.) - 1961.- a. Existence d'un dôme villafranchien dans la région de Koro-Toro (Rép.du Tchad). C.R.Acad. Sci., Paris, T 253, pp. 881-883.
b. Morphologie du Quaternaire des abords orientaux du lac Tchad. Bull. Inst. équat. Rech. Et. géol. min., n°14, pp. 72-82.

BARBER (W.) - JONES (D.G.) - 1960.- The geology and hydrology of Maïduguri, Bornu Province. Rec. geol. Surv. Nigeria 1958, pp. 5-20.

BARBIER (R.) - 1957.- Sur l'âge des latérites. C.R. Acad. Sci., Paris, T 250, pp. 1306-1308.

BARDOSSY (G.) - 1959.- The geochemistry of hungarian bauxites. Parts III - IV. Acta geol. Hung., LVI, fasc. 1-2, pp. 1-50.

BARTH (H.) - 1860-1868.- Voyages et découvertes dans l'Afrique septentrionale et centrale pendant les années 1849 à 1855. Trad. Paul Ithier. Firmin-Didot, Paris, 4 vol.

BAULIG (H.) - 1950.- Essais de géomorphologie. Publ. Fac. Lettres Univ. Strasbourg, fasc. 114, 161 p.

BAUXITES (Les), leur minéralogie et leur genèse. Trad. B.R.G.M. n° 2640. Izd. A.N.S.S.S.R., Moscou, 26 vol., 482 p. Ed. by N.M. Strakhov.

BEAUDET (G.) - MAURER (G.) - RUELLAN (A.) - 1967.- Le Quaternaire marocain : observations et hypothèses nouvelles. Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., IX, 4, pp. 269-310.

BEAUFRERE (Cal) - 1957.- La Bénoué capte-t-elle le Logone? Chron.Mines O.M., n°247, pp. 11-12.

BEAUREGARD (J.de) - BOUCHARDEAU (A.) - ROCH (E.) - 1949.- La formation du Mangbeï (Nord-Cameroun). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 310-311.

BEAUREGARD (J.de) - BOUCHARDEAU (A.) - ROCH (E.) - 1950.- Les coups de sabre des chutes Gauthiot (Territoire du Tchad). C.R. Acad. Sci., Paris, T 230, pp. 223-224.

BEAUREGARD (J.de) - BOUCHARDEAU (A.) - ROCH (E.) - SCHWOERER (P.) - 1952.- La chaîne crétacé de la Bénoué. C.R. Acad. Sci., Paris, T 234, pp. 1697-1699.

BECKWITH (R.S.) - 1955.- Metal complexes in soils. Aust. J. Agric. Res., vol. 6, pp. 685-698.

BELLAIR (P.) - 1938.- Les éléments lourds dans les sables désertiques. C.R. Acad. Sci., Paris, T 207, pp. 1054-1056.

BELLAIR (P.) - 1944.- Sur l'âge du calcaire de Mourzouk (Fezzan). C.R. Acad. Sci., Paris, T 219, pp. 490-491.

BELLAIR (P.) - 1945.- Les éléments lourds dans les sables de l'Erg d'Oubari (Fezzan). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 95-97.

BELLAIR (P.) - 1953.- Le Quaternaire de Tejerhi. in Mission au Fezzan (1949). Inst. Hautes Et. Tunis, Publ. sci. n°1, Tunis, pp. 9-16.

BELLAIR (P.) - 1957.- Sur les sols polygonaux du chott Djerid (Tunisie). C.R. Acad. Sci., Paris, T 244, pp. 101-103.

BELLAIR (P.) - JAUZEIN (A.) - 1952.- La dernière récurrence humide dans le Grand Erg Oriental. Bull. Soc. Sci. Nat. Tunisie, T.V, pp. 175-180, figure, 3 pl.

BERNARD (A.) - 1939.- Les territoires du Tchad. in Géographie Universelle publ. sous la dir. de P. Vidal de la Blache et L. Gallois. T XI Afrique septentrionale et occidentale par A. Bernard. 2ème partie. Sahara. Afrique occidentale. A.Colin, Paris, pp. 497-504.

BERNARD (E.A.) - 1959.- La théorie astronomique des pluviaux et interpluviaux du Quaternaire africain. Acad. r. Sci. O.M. Belg. Cl. Sci. nat. médic. Mém. T XII, fasc.1, 232 p.

BERNARD (E.A.) - 1959.- Les climats d'insolation des latitudes tropicales au Quaternaire. Théorie astronomique des pluviaux et interpluviaux africains. Acad. r. Sci. Colon. Belg. Bull. Séanc., T V, pp. 344-364.

BERTHELOT (R.) - 1958.- Etude hydrologique du Bahr Azoum. Serv. hydrol. ORSTOM, Fort-Lamy, 38 p. multigr., carte au 1/1.000.000è.

BESLON (M.) - 1958.- Les débits solides du Logone à Laï. ORSTOM - CRT, Paris, 15 p.multigr., 5 graph.

BESLON (M.) - 1959.- Bassin expérimental de Barlo près Mongo. Etude de ruissellement en régime soudano-sahélien. Campagne 1959. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 35 p.multigr., 31 graph., cart. + tabl.

BETREMIEUX (R.) - 1948.- a. Les sols du Moyen Logone et de la zone de capture. Agron. trop., T III, pp. 140-152.

b. Fermentation des matières organiques et dynamique chimique du sol. C.R. Acad. Sci. Paris, T 228, pp. 1749-1751.

BETREMIEUX (R.) - 1950.- Importance de quelques anions dans les phénomènes dus aux fermentations dans les sols. C.R. Acad. Sci., Paris, T 230, pp. 1892-1893.

BETREMIEUX (R.) - 1951.- Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. Ann. agron., pp. 193-295.

BETREMIEUX (R.) - 1954.- Influence de la fermentation des matières organiques sur le dynamisme des éléments minéraux dans un sol en place. C.R. Acad. Sci., Paris, T 238, pp. 2257-2258.

BEUTELSPACHER (H.) - 1955.- Wechselwirkung zwischen anorganischen und organischen Kolloiden des Bodens. 2. Pfl. Ernähr. Dung. Bodenk., Bd 69, pp. 108-115.

BIBERSON (P.) - 1958.- Essai de classification du Quaternaire marin du Maroc atlantique. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 67-70.

BIBERSON (P.) - 1961.- Le cadre paléogéographique de la préhistoire du Maroc atlantique. Publ. Serv. Antiquités Maroc, fasc.16, 236 p.

BIBERSON (P.) - 1962.- L'évolution du paléolithique marocain dans le cadre du Pléistocène atlantique. Quaternaria, T VI, pp. 177-205.

BIBERSON (P.) - 1964.- Quelques précisions sur les classifications du Quaternaire marocain. Bull. Soc. géol. Fr. (7), T V, pp. 607-616.

BILLON (B.) - 1961.- a. Evaluation de la crue centenaire du Bahr Sara à Manda (réestimation à la suite de la forte crue de 1961). ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 22 p. multigr., graph., tabl.

b. Note A_1 A_2 7. Supplément à la monographie du Logone inférieur. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 18 p. multigr., 4 graph.

BILLON (B.) - BESLON (M.) - 1960.- Aménagement Satégui-Deressia. Etudes des défluents du Logone entre Laï et Bouno. Campagne 1959. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 26 p. multigr., 7 graph.

BILLON (B.) - CALLEDE (J.) - SABATIER (J.) - 1963.- Etude hydro-climatologique des polders de la région de Bol. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 69 p. multigr., cart., graph.

BILLON (B.) - RANC (N.) - 1961.- Etude hydrologique de la cuvette de Doba. Campagne 1960. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 36 p. multigr., graph., tabl., cart.

BILLON (B.) - RIMBERT (R).- Données de base pour les projets de ponts. Campagne 1960. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 84 p. multigr., cart., graph., ann. 13 graph.

BIZARD (C.) - BONNET (A.) - FREULON (J.M.) - GERARD (G.) - LAPPARENT (A.F.de) - LELUBRE (M.) - VINCENT (P.) - WACRENIER (Ph.) - 1955.- Sur l'extension des couches continentales tertiaires ("CT") dans le NE du bassin du Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 241, pp. 1800-1803.

BLACHE (J.) - 1957.- Diatomées. in Guichard (E.). Sédimentations du lac Tchad. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy, pp. 25-27 multigr.

BLACHE (J.) - MITON (F.) - STAUCH (A.) - 1962.- Première contribution à la connaissance de la pêche dans le bassin hydrographique Logone-Chari-lac Tchad. Mém. ORSTOM n°4, Paris, 143 p.

BLOOMFIELD (C.) - 1950.- Some observations on gleying. J. Soil Sci., vol. I, pp. 205-211.

BLOOMFIELD (C.) - 1956.- The solution-reduction of ferric oxide by aqueous leaf extracts. The role of certain constituants of the extracts. Congr. int. Sci. Sol. 6. 1956, Paris, vol.B, pp.427-432.

BOCQUIER (G.) - 1964.- Présence et caractères de solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien. Congr. int. Sci. Sol. 8. 1964. Bucarest. Abstracts, V, pp. 381-384.

BOCQUIER (G.) - AUDRY (P.) - BARBERY (J.) - 1968.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000è. Feuille d'Am Dam. ORSTOM, n°30, Paris, 102 p.

BOCQUIER (G.) - GAVAUD (M.) - 1964.- Etude pédologique du Niger oriental. ORSTOM,-Hann-Dakar, 3 vol. 347 p. + fiches.

BOCQUIER (G.) - MAIGNIEN (R.) - 1963.- Les sols bruns subarides d'Afrique de l'Ouest. Sols afr., vol. VIII, n°3, pp.359-370.

BOLYSHEV (N.N.) - KAPUSTKINA (N.A.) - 1964.- Adsorption capacity of solonetzes. Soviet soil sci., vol.12, pp. 1263-1271.

BONIFAS (M.) - 1959.- Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique. Mém. Serv. Cart. géol. Als.Lorr., n°17, Strasbourg, 159 p.

BONNEAU (M.) - DUCHAUFOUR (Ph.) - MILLOT (G.) - PAQUET (H.) - 1964.- Note sur certains sols vertisoliques formés en climat tempéré. Bull. Serv. Cart. géol. Als.Lorr. T 17, pp. 325-334.

BONNET (M.) - 1960.- Possibilité d'aménagements hydro-agricoles au Tibesti et au Borkou. Serv. Génie rural, Fort-Lamy, 38 p. multigr.

BORDET (P.) - 1951.- Présence de latérites fossiles dans l'Atakor du Hoggar. C.R. somm. Soc. géol. Fr., p. 97.

BOREL (Y.) - 1961.- L'aménagement de la zone Eré-Loka-Tandjilé. Campagne 1961. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 130 p. multigr., graph., tabl., cart.

BOSSIERE (C.G.) - 1935.- L'avenir du lac Tchad. La Nature, n° 2963, pp. 337-339.

BOUCHARDEAU (A.) - 1956.- Le lac Tchad. in Ann. Hydrol. 1956. ORSTOM, Paris, pp. 9-26.

BOUCHARDEAU (A.) - 1958.- Etudes d'évaporation dans les régions sahélo-soudaniennes. A.I.H.S. Gentbrugge. Assemblée générale. 1957. Toronto, T.III, pp. 407-420.

BOUCHARDEAU (A.) - 1959.- a. Méthode d'extrapolation du coefficient de ruissellement sur les bassins expérimentaux de la zone sahélienne du Tchad. in Ann. Hydrol. 1957. ORSTOM, Paris, pp. 9-31.
b. Mesures de débits solides sur le Logone. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy (Congr. CCTA, Yaoundé 17-21 nov. 1959).

BOUCHARDEAU (A.) - 1961.- Bacs d'évaporation. Mesures comparatives. Enregistrement continu. Fort-Lamy 1960-1961. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 33 p. multigr., graph., tabl.

BOUCHARDEAU (A.) - 1962.- Les polders du lac Tchad. Conditions physiques des aménagements. CCTA-CSA.Réun. Aménag. Rég. Bassin Tchad. Réun. Hydrol. pays river. Tchad. Fort-Lamy. 23-25 oct. 1962, 7 p.multigr.

BOUCHARDEAU (A.) - BRESSON (Y.) - RODIER (J.) - 1953.- Monographie hydrologique de la Haute Bénoué. ORSTOM, serv. hydrol., Paris, 93 p. multigr., graph.

BOUCHARDEAU (A.) - LEFEVRE (R.) - 1957.- Monographie du lac Tchad. T.I. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy., 112 p. multigr., 13 graph., carte 1/500.000 è.

BOUCHARDEAU (A.) - TIXIER (J.) - 1958.- Etude d'écoulement en régime sahélien. Le bassin du Batha. 1956-1957-1958. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy, serv.hydrol., 82 p. multigr.

BOULAINE (J.) - 1957.- Etude des sols des plaines du Chélif. Thèse. Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural, Alger, 581 p.

BOULAINE (J.) - 1961.- Sur le rôle de la végétation dans la formation des carapaces calcaires méditerranéennes. C.R. Acad. Sci., Paris, T 253, pp. 2568-2570.

BOULAINE (J.) - 1961.- Sur quelques sols rouges à carapace calcaire. Bull. Ass. fr. Et. Sol, 3, pp. 130-134.

BOUREAU (E.) - 1953.- Sur quelques plantes fossiles du territoire du Tchad et du Nord-Cameroun. Bull. Serv. Mines Cameroun, n°1, pp. 121-132.

BOUREAU (E.) - ROCH (E.) - 1952.- La formation de Pala-Lamé. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 47-49.

BOUTEYRE (G.) - 1955.- Etude pédologique de la ferme cotonnière de Youé (District de Fianga). Service de l'Agriculture du Tchad, Fort-Lamy, 39 p. multigr., carte 1/5.000 è.

BOUTEYRE (G.) - 1956.- a. Reconnaissance pédologique des paysannats de la région du Logone. Service de l'Agriculture du Tchad, Fort-Lamy, 16 p. multigr., cart. 1/20.000 è.

b. Ecobuage en culture rizicole dans la région de Kim et Boumo (régions du Mayo-Kebbi et du Logone). Service de l'Agriculture du Tchad, Fort-Lamy, 24 p. multigr.

BOUTEYRE (G.) - 1958.- Les sols de la région d'Ab-Touyour. Service de l'Agriculture du Tchad, Fort-Lamy, 24 p. multigr., 2 graph.

BOUTEYRE (G.) - 1959.- Trois années d'études de l'évolution des sols sur argiles récentes et argiles à nodules calcaires. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 83 p. multigr., 25 graph.

BOUTEYRE (G.) - 1960.- Esquisse pédologique du Goz d'Am-Dam. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 30 p. multigr., carte 1/100.000 è.

BOUTEYRE (G.) - 1961.- Etude pédologique du paysannat de Talia. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 18 p. multigr., 2 graph.

BOUTEYRE (G.) - 1962.- Notice pédologique préliminaire de la cuvette de Doba. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 7 p. multigr., 4 graph.

BOUTEYRE (G.) - 1965.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000 è. Feuilles de Koumra-Moundou. ORSTOM, n°20. Paris, 110 p. 2 cart.

BOUTEYRE (G.) - BARBERY (J.) - 1961.- Evolution des sols jeunes sur argiles récentes et argiles à nodules calcaires du Logone dans le casier A Nord-Bongor. Observations sur la campagne 1959. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 16 p. multigr., 11 annexes (graphiques et tableaux).

BOUTEYRE (G.) - CABOT (J.) - DRESCH (J.) - 1964.- Observations sur les formations du Continental Terminal et Quaternaire dans le bassin du Logone (Tchad). Bull. Soc. géol. Fr., 7è sér., T VI, pp. 23-27.

BOUTEYRE (G.) - LEPOUTRE (B.) - 1959.- Premiers résultats sur l'étude de l'évolution des sols jeunes sur argiles récentes et argiles à nodules calcaires du Logone. Conf. Interafr. Sols. 3. 1959. Dalaba, vol.II, pp. 899-907.

BRAQUAVAL (R.) - 1957.- Etudes d'écoulement en régime désertique. Massif de l'Ennedi et région nord du Mortcha. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy, 92 p. multigr., 5 ann., cart., tabl.

BREMMER (J.M.) - 1956.- Some soil organic matter-problems. Soils and fert. XIX, pp. 115-123.

BREMMER (J.M.) - HEINTZE (S.G.) - MANN (P.J.G.) - LEES (H.) - 1946.- Metallo-organic complexes in soil. Nature 158, pp. 790-791.

BREMMER (J.M.) - LEES (H.) - 1949.- Studies on soil organic matter. II. Extract of organic matter from soil by neutral reagents. J. Agric. Sci., vol.39, pp. 274-279.

BRUCHNER (W.D.) - 1957.- Laterite and bauxite profiles of West Africa as an index of rhythmical climatic variation in the tropical Belt. Ecl. geol. Helv., v.50, n°2, pp. 239-256.

BRUCKERT (S.) - DOMMERGUES (Y.) - 1966.- Etude expérimentale de la biodégradation de deux complexes organo-ferriques dans un sol à mor et dans un sol à mull. Sci. Sol n°2, n° spécial, pp. 65-75.

BRUNEAU de MIRE (P.) - QUEZEL (P.) - 1959.- Sur quelques aspects de la flore résiduelle du Tibesti : les fumerolles du Toussidé et les lappiaz volcaniques culminaux de l'Emi Koussi. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N., T.50, pp. 126-145.

BRYNMOR (J.) - 1948.- The sedimentary rocks of Sokoto province. Geol. surv. Nigeria, Bull., n°18, 75 p., carte 1/500.000 è.

BURGES (A.) - BEADLE (N.C.W.) - 1953.- A further note on laterites. Austr. J. Sci., vol.15, n°1, pp. 170-171.

BUTZER (K.W.) - 1957.- The recent climatic fluctuation in lower latitudes and the general circulation of the Pleistocène. Geogr. ann., XXXIX, pp. 105-113.

BUTZER (K.W.) - 1961.- Les changements climatiques dans les régions arides depuis le Pliocène. in Histoire de l'utilisation des terres des régions arides. Ed. par L. Dudley Stamp. UNESCO, Paris, pp. 35-64.

BUTZER (K.W.) - 1962.- The pleistocène sequence in Egypt and its implication for pluvial-glacial correlation in the Sahara. Mus. r. Afr. Centr. Tervuren, Ann. in-8°, Sc. hum., n°40, pp. 133-139.

BUTZER (K.W.) - 1967.- Late Pleistocène beaches and Wadi alluvia near Mersa Alam, Red. Sea coast, Egypt. Congr. Int. Panafr. Préh. Et. Quat., 6, 1967, Dakar, rés. p.40.

BUTZER (K.W.) - HANSEN (C.L.) - 1967.- Interrelationships of subsaharan nilotic deposits and local Wadi alluvial in Southern Egypt. Congr. Int. Panafr. Préh. Et. Quat. 6, 1967, Dakar, rés. pp. 41-42.

CABOT (J.) - 1955.- La mise en valeur des régions du Moyen Logone. Ann. Géogr., n°341, pp. 35-46.

CABOT (J.) - 1957.- a. La culture du coton au Tchad. Ann. Géogr., n°358, pp. 499-508.

b. Un domaine nouveau de riziculture inondée : les plaines du Moyen Logone. Cah. Outre Mer, n°38, pp.158-173.

CABOT (J.) - 1961.- a. Sur le passé de la cuvette tchadienne. Ann. Géogr., n°380, pp. 430-432.

b. Au Tchad, le problème des Koros (Département du Logone). Ann. Géogr., n°382, pp. 621-633.

CABOT (J.) - 1965.- Le Bassin du Moyen Logone. Mém. ORSTOM n°8, Paris, 327 p. 20 pl., carte.

CAILLERE (S.) - BETREMIEUX (R.) - HENIN (S.) - 1947.- Examen des argiles de quelques sols tropicaux. C.R. Acad. Sci., Paris, T 225, pp. 818-820.

CAILLERE (S.) - HENIN (S.) - 1947.- Application de l'analyse différentielle à l'étude des argiles des sols. Ann. Agron., pp. 23-72.

CAILLERE (S.) - HENIN (S.) - BIROT (P.) - 1957.- Sur la formation transitoire de montmorillonite dans certaines altérations latéritiques. C.R. Acad. Sci., Paris, T.244, pp. 788-791.

CAILLEUX (A.) - TRICART (J.) - 1959.- Initiation à l'étude des sables et des galets. C.D.U., Paris, 3 vol. 376 + 194 + 202 p.

CAPOT-REY (R.) - 1953.- Le Sahara français. Presses Univ. Fr., Paris, 564 p., 22 graph., 12 photograv. h.t., 8 cartes h.t.

CAPOT-REY (R.) - 1957.- Le vent et le modelé éolien au Borkou. Trav. Inst. Rech. sah., T XV, pp. 149-157, 4 pl.

CAPOT-REY (R.) - 1959.- Le sel et le commerce du sel au B.E.T. (Borkou- Ennedi-Tibesti). Trav. Inst. Rech. sah., T XVIII, pp. 187-193.

CAPOT-REY (R.) - 1961.- Borkou et Ounianga; étude de géographie régionale. Inst. Rech. Sah., Mém. n°5. Alger, 182 p.

CARROLL (D.) - 1958.- Role of clay minerals in the transportation of iron. Geochim. cosmochim. Acta, vol.14, pp. 1-28.

CARTER (J.D.) - 1960.- A note on the sedimentary rocks of the northern part of Sokoto province, Nigeria. CCTA, CSA, Publ. n°55, Londres, pp. 20-21.

CARVALHO (G.) - GILLET (H.) - 1960.- Catalogue raisonné et commenté des plantes de l'Ennedi (Tchad septentrional). Lab. Agron. trop. Museum Nat. Hist. nat. et Lab. Centre Off. Anti-Acridien. Bull. h.s., janv.-août 1960, 158 p.

CASSEBAUM (H.) - 1958.- Beziehungen zwischen Redoxpotential und Dehydrasewirkung von Chinonen und Isatinen. Z.f. Elektrochemie 62. pp. 426-436.

CHAVAILLON (J.) - 1956.- a. Formations subordonnées aux sables du Grand Erg occidental dans la région de Beni-Abbès - Hassi-Fokra. C.R.somm.Soc. géol. Fr., pp. 142-146.

b. Quaternaire de la vallée de Guir (Sahara nord occidental). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 231-233.

CHAVAILLON (J.) - 1957.- Chronologie du Quaternaire saharien depuis les derniers dépôts du Paléolithique ancien jusqu'au Néolithique. C.R. Acad. Sci., Paris, T 244, pp. 1663-1666.

CHAVAILLON (J.) - 1964.- Etude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara nord occidental (Colomb-Béchar à Reggane). Publ. Centre de Recherches sur les zones arides , sér. Géol. n°5, CNRS, Paris, 393 p., 32 pl., 1 carte au 1/500.000è.

CHAVAN (A.) - 1954.- Pélécypodes marins de la formation de Pala-Lamé (Territoire du Tchad). Bull. Dir. Mines Géol. Afr. équat. fr., n°6, pp.91-100.

CHEVALIER (A.) - 1932.- Sur la mer quaternaire de Tombouctou. C.R. Acad. Sci., Paris, 19, pp. 1593-1595.

CHEVALIER (A.) - 1903.- Mission scientifique au Chari et au Tchad. Bull. Soc. Géogr., T VII, pp. 354-360.

CHEVALIER (A.) - 1907.- L'Afrique centrale française. Mission Chari-Tchad (1902-1904). Challamel, Paris, 776 p., 7 pl., 1 carte 1/3.000.000 è.

CHEVALIER (A.) - 1928.- L'assèchement de l'Afrique occidentale et centrale, les irrigations et le reboisement. Rev. Bot. appl., n°33, pp. 212-214.

CHEVALIER (A.) - 1949.- L'Agriculture coloniale. Que sais-je? n°62, P.U.F., Paris, 128 p.

CHEVALIER (A.) - SENAY (P.) - 1942.- Le coton. Que sais-je? n°90, P.U.F., Paris, 128 p.

CHEVERRY (C.) - 1965.- Caractérisation de quelques sols de la région de Bol. Etude de 2 séquences de sols. I. Sur sables dunaires. II. Sur argile des polders. ORSTOM, Centre Fort-Lamy, 72 p. multigr., 11 tabl. analyt.

CHEVERRY (C.) - 1966.- Etude préliminaire des processus d'hydromorphie et d'halomorphie dans les polders de la région de Bol (Rives du lac Tchad). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol.IV, 3, pp. 63-96.

CHOUBERT (G.) - 1946.- Sur l'influence des pluviaux sur le creusement et le comblement fluviatiles pendant le Quaternaire. C.R. Acad. Sci., Paris, T 223, pp. 810-812.

CHUDEAU (R.) - 1906.- De Zinder au Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 143, pp. 193-195.

CHUDEAU (R.) - 1909.- Non existence probable de la mer de Tombouctou. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 387-388.

CHUDEAU (R.) - 1919.- La capture du Niger par le Taffassasset. Ann. Géogr., n° 151, pp. 52-60.

CHUDEAU (R.) - 1921.- Les changements de climat du Sahara pendant le Quaternaire. C.R. Acad. Sci., Paris, T 172, pp. 604-607.

CLAISSE (G.) - COMBEAU (A.) - 1954.- Carte de reconnaissance de la région comprise entre la dépression de Fianga et le cours du Logone (Echelle au 1/100.000 è). I.R.CAM, Yaoundé, 3 p. multigr.

CLOOS (P.) - FRIPIAT (J.J.) - 1958.- L'acetylation de la kaolinite. Pédologie, VIII, pp. 13-24.

COLE (S.) - 1964.- The prehistory of East Africa. Weidenfeld and Nicolson, London, 382 p.

COMBEAU (A.) - CURIS (M.) - CLAISSE (G.) - 1954.- La riziculture sur les sols du bourrelet riverain du Logone. I.R. CAM, Yaoundé, 6 p. multigr.

COMBEAU (A.) - QUANTIN (P.) - 1963.- Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols, en région tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., n°3, pp. 17-23, graph.

CONRAD (G.) - 1959.- Importance et rôle des termites dans les formations pédologiques fossiles du Quaternaire de la région de Beni-Abbès. C.R. Acad. Sci., Paris, T 249, pp. 2089-2091.

CONRAD (G.) - 1965.- Les grandes lignes stratigraphiques du Quaternaire de l'Ahnet et du Mouydir (Sahara central). C.R. Acad. Sci., Paris, T 260, pp. 1216-1219.

CONRAD (G.) - 1967.- Les fluctuations climatiques récentes dans l'est du Sahara occidental algérien. Congr. Int. Panafr. Préh. Et. Quat. 6. 1967, Dakar, 11 p. multigr., 7 fig.

CONRAD (G.) - GEZE (B.) - 1965.- Les grands traits morphologiques récents dans les monts d'Ougarta (Sahara nord occidental). C.R. Acad. Sci., Paris, T 261, pp. 4781 - 4784.

COPPENS (Y.) - 1960.- Le Quaternaire fossilifère de Koro-Toro (Tchad). Résultats d'une 1ère mission. C.R. Acad. Sci., Paris, T 251, pp. 2385-2386.

COPPENS (Y.) - 1961.- Découverte d'un Australopithéciné dans le Villafranchien du Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 252, pp. 3851-3852.

COPPENS (Y.) - 1965.- L'hominien au Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 260, pp. 2869-2871.

COPPENS (Y.) - 1967.- De l'archéologie à la paléogéographie. Bull. ASEQUA, n°14-15, pp.11-17.

CORNET (A.) - 1942.- Une topographie fossile anté-éocène dans le nord de l'Adrar des Iforas (Sahara soudanais). C.R. somm. Soc. Géol. Fr., n°13, pp. 141-142.

CORNET (A.) - 1943.- La transgression crétacée-éocène à l'ouest de l'Adrar des Iforas et les dépôts continentaux post-éocènes. Trav. Inst. Rech. sahar., T II, pp 177-197.

CORNET (A.) - 1948.- Sur la réalité de mouvements post-crétacés au Sahara. Trav. Inst. Rech. sahar., T V, pp. 33-46. 2 pl., 2 fig.

CORRENS (C.W.) - 1961.- The experimental chemical weathering of silicates. Clay Min. Bull., vol.4, pp. 249-265.

COURTET (H.) - 1905.- a. Les sels de la région du Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 140, pp 316-319.

b. Observations géologiques recueillies par la mission Chari-lac Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 140, pp. 160-162.

COURTET (H.) - 1907.- Géologie et minéralogie. in Mission Chari-Tchad (1902-1904). L'Afrique Centrale française. Récit du voyage de la mission A.CHEVALIER. Challamel, Paris, pp. 619-690.

DABIN (B.) - 1952.- Influence du rapport Na/Ca sur les propriétés physiques de certains sols argileux du delta central nigérien. Bull. Ass. Fr. Et. Sol, n°31, pp. 3-6.

DABIN (B.) - 1954.- Les problèmes de l'utilisation des sols à l'Office du Niger. Conf. interafric. Sols. 2. 1954. Léopoldville. Vol.II, pp. 1165-1176.

DABIN (B.) - 1967.- a. Etude qualitative des acides humiques tropicaux par électrophorèse sur papier. ORSTOM - SSC, Bondy, 11 p. multigr.

b. La matière organique dans les sols ferrugineux tropicaux. ORSTOM. Pédologie. Réunion annuelle 1967 Bondy, 9 p. multigr., 7 tabl.

DABIN (B.) - FAUCK (R.) - PIAS (J.) - 1966.- Les sols de l'aire de l'étude. in Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique Occidentale. FAO, Rome; UNESCO, Paris; WMO, Genève, pp. 21-39.

DALLONI (M.) - 1931.- a. Une mission scientifique au Tibesti. C.R.Acad. Sci., Paris, T 193, pp. 720-723.

b. Constitution géologique au Tibesti : le substratum antécambrien. C.R. Acad. Sci, Paris, T 193, pp. 1025-1027.

DALLONI (M.) - 1932.- a. Les grès siluriens et les roches intrusives alcalines des formations anciennes du Tibesti. C.R. Acad. Sci., Paris, T 194, pp. 471-474.

b. Les volcans du Tibesti. C.R. Acad. Sci., Paris, T 194, pp. 626-628.

DALLONI (M.) - MONOD (Th.) - 1948.- Géologie et préhistoire (Fezzan méridional, Kaouar et Tibesti). Mission scientifique au Fezzan (1944-1945). Inst. Rech. sahar., vol.VI Alger, 156 p., pl. et fig.

DAVEAU (S.) - MOUSINHO (R.) - TOUPET (C.) - 1967.- Les grandes dépressions fermées de l'Adrar mauritanien, sebkha de Chemchane et Richât. Bull. IFAN, T XXIX, sér.A, n°2, pp. 413-446.

DAVEAU-RIBEIRO (S.) - BIBERSON (P.) - 1967.- Le Quaternaire et le Paléolithique de l'Adrar mauritanien. Congr. Panafr. Préh. Et. Quat. 6. 1967. Dakar, 11 p. multigr. Livret guide. Colloque sur le terrain en Mauritanie.

DEB (B.C.) - 1950.- The estimation of free iron oxides in soils and clays and their removal. Journ. of Soil Sci., vol.I, n°2, p.212.

DEFRETIN (S.) - BOUREAU (E.) - 1952.- Le Wealdien du N.-Cameroun. C.R. Acad. Sci., Paris. T 234, pp. 1459-1460.

DEICHA (G.) - 1944.- La vitesse de sédimentation chimique salifère et les chiffres d'évaporation annuelle. C.R. somm. Soc. Géol. Fr., pp. 140-142.

DELIBRIAS (G.) - HUGOT (H.J.) - 1962.- Datation par la méthode dite du C 14 du Néolithique de l'Adrar Bous (Ténéréen). in Mission Berliet "Ténéré-Tchad", Arts et Métiers, Paris, pp. 71-72.

DELVIGNE (J.) - 1965.- Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Mém. ORSTOM n°13. ORSTOM, Dunod, Paris, 178 p.

DEMOLON (A.) - 1949.- La génétique des sols et ses applications. Que sais-je ? n° 352. P.U.F., Paris, 135 p.

DEMOLON (A.) - 1960.- Principes d'agronomie. Dunod, Paris, 2 vol. T.I Dynamique du sol. 5ème éd. 520 p. T.II Croissance des végétaux cultivés. 2ème éd. XVI-475 p.

DEMOLON (A.) - AUBERT (G.) - 1952.- Sur la capacité de production des sols en Afrique équatoriale et tropicale. C.R. Acad. Sci., Paris, T 234, pp. 689-692.

DEMOLON (A.) - AUBERT (G.) - HENIN (S.) - 1948.- Tendances actuelles de la pédologie dans les régions tropicales et subtropicales. C.R. Acad. Sci., Paris, T 227, pp. 5-8.

DEMOLON (A.) - BASTISSE (E.M.) - 1944.- Observation sur la géochimie du fer. Application à la chlorose. C.R. Acad. Agric. Fr., 30, pp. 501-504.

DENAEYER (M.E.) - 1924.- a. Nouvelles observations sur la géologie du Tibesti-Djado-Kaouar. C.R. Acad. Sci., Paris, T 179, pp. 472-475.
b. La géologie du Ouadaï. Congr. Soc. Sav. pp. 209-232.

DENAEYER (M.E.) - CARRIER.- Les principaux résultats géologiques et lithologiques de la mission de délimitation Ouadaï-Darfour. C.R. Acad. Sci., Paris, T 178, pp. 1197-1199.

DE RIDDER (N.A.) - DIELEMAN (P.J.) - 1963.- Expertise sur les mouvements des eaux et des sels dans le polder de Bol Guini. République du Tchad. Inst. Int. pour l'amélioration et la mise en valeur des terres, Wageningen, 52 p. multigr.

DERRUAU (M.) - 1962.- Précis de géomorphologie. 3è éd. Masson, Paris, 413 p.

DESIO (A.) - 1950.- Le condizioni geologichi della Libia fra il Pliocene ed il Quaternario. Int. geol. Congr. XVIIIe session 1948 Great Britain, Part IX, pp. 26-29.

DESIO (A.) - 1954.- Sulle comunicazioni marittime fra la Libya e l'Africa tropicale nella Cretace nell' Eocene. Congr. Int. geol. 19. 1954. Alger, fasc. 21, p.155.

DESTENAVE - 1903.- a. Exploration des îles du Tchad. Géographie, VII, p.421-426.

b. Le lac Tchad. Rev. géné.Sci. pures appl., 14, pp. 649-662, pp. 717-727.

D'HOORE (J.) - 1949.- Les composés du fer dans le sol. Bull. Agric. Congo belge. XL, 1, pp. 66-85.

D'HOORE (J.) - 1954.- a. L'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux. Publ. INEAC, Sér. Sci., n°62. Bruxelles, 132 p., 15 tabl., 24 fig., 37 photos.

b. Clay mineral and gibbsite crystals as clues to the mode of transformation of ancient sesquioxyde accumulation zones. Congr. int. Sc. Sol. 5. 1954. Léopoldville, vol.IV, pp.45-48.

c. Le facteur humain et l'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux. Conf. Interafr. Sols. 2. 1954. Léopoldville, vol.I, pp. 241-252.

d. Etude statistique des teneurs en Fe_2O_3 libre sur limon et argile pour les sols de 3 régions naturelles du Congo belge. Conf. Interafr. Sols. 2. 1954. Léopoldville, vol.I, pp. 261-272.

D'HOORE (J.) - 1956.- Quelques remarques générales sur les sols d'Afrique intertropicale. Congr. int. Sc. Sol. 6. 1956. Paris, vol.E, pp. 149-154.

D'HOORE (J.) - 1964.- La carte des sols d'Afrique. Mémoire explicatif. C.C.T.A., publ. n°93. Lagos, 210 p., 6 cart. + carte en 7 feuilles.

D'HOORE (J.) - FRIPIAT (J.J.) - GASTUCHE (M.C.) - 1954.- Les argiles tropicales et leur oxyde de fer de recouvrement. Conf. Interafr. Sols. 2. 1954. Léopoldville, vol.I, pp. 257-260.

DOMMERGUES (Y.) - 1962.- Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. Thèse I.N.R.A., Paris, 157 p.

DOUVILLE (H.) - TILHO (J.) - 1933.- La géologie de la région au nord du Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 197, p. 1012-1016.

DRESCH (J.) - 1947.- a. Pénéplaines africaines. Ann. géogr., n° 301, pp. 125-137.
b. A propos de la capture du Logone par la Bénoué. Bull. Assoc. Géogr. fr., n° 188-189, pp. 100-105.

DRESCH (J.) - 1949. a.Sur les pédiments en Afrique méditerranéenne et tropicale. Congr. Int. géol. 16. 1949. Lisbonne.

DRESCH (J.) - 1949. b. Les mouvements quaternaires en Afrique du Nord. Ann. géogr., n° 309, pp. 88-90.

DRESCH (J.) - 1952. Observations dans la région de Mokolo (Nord Cameroun). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 88-90.

DRESCH (J.) - 1957.- Pédiments et glacis d'érosion, pédiplains et inselberg Inform. géogr., n°5, pp. 183-196.

DRESCH (J.) - 1963.- L'érosion fluviale aux chutes Gauthiot (Cameroun). Bull. Assoc. Géogr. fr., n°314-315, pp. 33-38.

DRESCH (J.) - ROUGERIE (G.) - 1960.- Observations morphologiques dans le Sahel du Niger. Rev. Géomorph. dyn., pp. 49-58.

DUBIEF (J.) - 1959-1963.- Le climat du Sahara. Inst. Rech. sahar., Alger, T.I 314 p.; T.II, fasc.1, 275 p.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1954.- a. Essai de fractionnement de différents complexes humiques dans les sols. C.R. Acad. Sci., Paris, T 238, pp. 836-838.
b. Les propriétés de complexes humiques dans différents types de sols. Ann. Ec. Eaux For. Nancy 14, pp. 41-65.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1963.- Note sur le rôle du fer dans les complexes argilo-humiques. C.R. Acad. Sci., Paris, T 256, pp. 2657 - 2660.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1964.- a. Evolution de l'aluminium et du fer complexés par la matière organique dans certains sols. Sci. Sol, n°2, pp. 3-17.
b. Sur la dynamique de l'aluminium dans les sols podzoliques. C.R. Acad. Sci., Paris, T 259, pp. 3307-3309.

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1965.- Précis de pédologie. 2ème éd. Masson, Paris, 481 p.

DUCHAUFOUR (Ph.) - DOMMERGUES (Y.) - 1963.- Etude des composés humiques de quelques sols tropicaux et subtropicaux. Sols afr., vol. VIII, pp.5-23.

DUCHAUFOUR (Ph.) - JACQUIN (F.) - 1964.- Résultats des recherches récentes sur l'évolution de la matière organique dans les sols. C.R. Acad. Agric. Fr., 50, pp. 376-387.

DUCHAUFOUR (Ph.) - MANGENOT (F.) - 1957.- Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. II. Humification biologique et abiologique. Ann. Agron., pp. 573-583.

DUMONT (R.) - 1950.- Les possibilités d'accroissement de la production cotonnière en AEF. La 5è zone cotonnière du Tchad. Rapport de mission.

DUMONT (R.) - 1962.- L'Afrique noire est mal partie. Ed. du Seuil, Paris, 287 p.

DUPLAIX (S.) - 1958.- Détermination microscopique des minéraux des sables. 2° éd. Libr. Polytechn. Ch. Béranger, Paris et Liège, 96 p.

DURAND (J.H.) - 1953.- Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. Serv. Etud. scientif., Pédologie n°1, Dir. Serv. Colon. Hydraul., Alger, 209 p.

DURAND (J.H.) - 1956.- a. Les croûtes calcaires s.l. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la Bio-rhexistasie. Serv. Etud. scientif. Etudes générales n°4. Dir. Hydraul. Equip. rural, Alger, 19 p.

b. Contribution à l'étude des "solonetz magnésiens". Bull. Ass. fr. et. sol, n°77, pp.508-513.

DURAND (J.H.) - 1958.- Du nouveau au sujet de la formation des croûtes calcaires s.l.? Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N., T 49, pp. 196-203.

DURAND (J.H.) - 1959.- Les sols rouges et les croûtes en Algérie. Serv. Etud. scientif. Etude générale n°7. Dir. Hydraul. Equip. rural, Alger, 188 p.

DURAND (J.H.) - DUTIL (P.) - 1958.- Présence de latérite fossile au Hoggar. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N., T 49, pp. 21-22.

DUTIL (P.) - 1959.- Sur la présence de 2 niveaux quaternaires dans le massif central du Sahara (Hoggar). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 199-200.

DUTIL (P.) - JUSTE (C.) - 1965.- Etude de la composition de la matière organique de paléosols sahariens, interprétations et conséquences pour l'héritage organique des sols. C.R. Acad. Sci., Paris, T 261, pp. 4791-4794.

ERHART (H.) - 1935-1937.- Traité de Pédologie. T. I Pédologie générale. T.II Pédologie agricole. Inst. Pédol., Strasbourg, T.I 260 p., T.II, 203 p.

ERHART (H.) - 1943.- a. Les latérites du Moyen Niger et leur signification paléoclimatique. C.R. Acad. Sci., Paris, T 217, pp. 323-325.

b. Sur la nature et l'origine des sols du Delta Central Nigérien. C.R. Acad. Sci., Paris, T 217, pp. 379-381.

c. Sur les terres à nodules calcaires et à pisolithes ferrugineux du Delta Central Nigérien. C.R. Acad. Sci., Paris, T 217, pp. 455-456.

ERHART (H.) - 1951.- Sur l'importance des phénomènes biologiques dans la formation des cuirasses ferrugineuses en zone tropicale. C.R. Acad.Sci., Paris, T 233, pp. 804-806.

ERHART (H.) - 1953.- a. Sur la nature minéralogique et la genèse des sédiments de la cuvette tchadienne. C.R. Acad. Sci., Paris, T 237, pp. 401-403.

b. Sur les cuirasses termitiques fossiles dans la vallée du Niari et dans le massif de Chailla (Moyen-Congo. A.E.F.). C.R. Acad. Sci., Paris, T 237, pp. 431-433.

ERHART (H.) - 1956.- a. La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse de la théorie géologique et géochimique. Biostasie et rhexistasie. Masson, Paris, 90 p.

b. La vie végétale continentale aux époques pré-dévoniennes, vue sous l'angle de la théorie bio-rhéxistasique et des dernières découvertes palynologiques. Bull. Soc. géol. Fr., (6), VI, pp. 445-450.

ERHART (H.) - 1961.- a. Sur la genèse de certains gîtes miniers sédimentaires en rapport avec le phénomène de bio-rhéxistasie et avec des mouvements tectoniques de faible amplitude. C.R. Acad. Sci., Paris, T 252, pp. 2904-2906.

b. Sur la genèse de certains gîtes sédimentaires de fer. C.R. Acad. Sci., Paris, T 252, pp. 3307-3309.

ERHART (H.) - PIAS (J.) - LENEUF (N.) - 1954.- Etude pédologique du Bassin alluvionnaire du Logone-Chari. ORSTOM, Librairie Larose, Paris, 234 p., 4 cartes.

ENIKEFF (M.G.) - 1939.- Le transport des sels dissous par le Niger en 1938. C.R. Acad. Sci., Paris, T 209, pp. 229-231.

FALCONER - 1911.- The geology and geography of Northern Nigeria. Mac Millan , London, 286 p.

FAUCK (R.) - 1963.- Le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions. Sols afr., vol.VIII, pp. 383-405.

FAUCK (R.) - 1964.- Les sols rouges faiblement ferrallitiques d'Afrique. Congr Int. Sc. Sols. 8. 1964. Bucarest. Abstracts, V, pp. 407-409.

FAURE (H.) - 1954.- Géologie des régions au nord du Tchad (Territoire du Niger). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 309-312.

FAURE (H.) - 1959.- Sur quelques dépôts quaternaires du Ténéré (Niger). C.R. Acad. Sci., Paris, T 249, pp. 2807-2809.

FAURE (H.) - 1962.- Esquisse paléogéographique du Niger oriental depuis le Crétacé. C.R. Acad. Sci., Paris, T 254, pp. 4485-4486.

FAURE (H.) - 1966.- Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. Mém. B.R.G.M., n°47, 630 p., 12 pl., carte.

FAURE (H.) - ELOUARD (P.) - 1967.- Schéma des variations de l'Océan Atlantique sur la côte de l'ouest de l'Afrique depuis 40.000 ans. C.R. Acad. Sci., Paris, T 265, sér.D, pp. 784-787.

FAURE (H.) - MANGUIN (E.) - NYDAL (R.) - 1963.- Formations lacustres du Quaternaire supérieur du Niger oriental : diatomites et âges absolus. Bull. B.R.G.M., n°3, pp. 41-63.

FLANDRIN (J.) - 1949.- Hydrogéologie du Tchad. 1er rapport de mission. Inst. Rech. géol. Min., Brazzaville, multigr.

FORSYTH (W.G.C.) - 1947.- The characterization of the humic complexes of soil organic matter. J. agric. Sci., Camb., vol.37, pp. 132-138.

FOUET (R.) - CAILLEUX (A.) - 1950.- Mécanisme de la submersion profonde des reliefs originellement subaériens. C.R. Acad. Sci., Paris, T 231, pp. 978-980.

FOUREAU (F.) - 1905.- Documents scientifiques de la Mission saharienne (Mission Foureau-Lamy). Paris, Masson, T I : 553 p., 428 fig., 30 pl., T II : Atlas, 16 pl.

FOURNIER (F.) - 1960.- Climat et érosion. P.U.F., Paris, 203 p.

FRANZ (H.) - 1958.- Beitrag zur Kenntnis der Stratigraphie und Klimatologie des Quartärs in Tschadbecken (Französisch-Aequatorialafrika). Mitt. geol. ges. Wien, 51, pp. 19-65.

FREYDENBERG(H)1908.- a. Le Tchad et le bassin du Chari. Thèse. F.Schmidt, Paris, 187 p., 4 cart.

b. Description géologique de l'itinéraire N'Guimi-Bilma d'après les échantillons rapportés par le Lt Ayasse. Géographie, XVII, n°2, pp. 111-114.

FRIPIAT (J.J.) - 1958.- Les argiles des sols tropicaux. Silic. industr., T XXIII, n°12, pp. 623-633.

FRIPIAT (J.J.) - GASTUCHE (M.C.) - COUVREUR (J.) - 1953.- Quelques caractéristiques thermiques des complexes synthétiques kaolinite-oxyde de fer trivalent. Bull. Groupe fr. Argiles, V, pp. 42-53 multigr.

FRITEL (P.H.) - CARRIER (Ct) - 1924.- Sur des vestiges de plantes dévoniennes et carbonifères recueillies en Ouadaï par la mission du Lieutenant-Colonel Grossard. C.R. Acad. Sci., Paris, T 178, pp. 505-507.

FURON (R.) - 1959.- La paléogéographie. Essai sur l'évolution des continents et des océans. 2è éd., Payot, Paris, 403 p., 76 fig., 12 pl.

FURON (R.) -1933 .- Nouvelles observations sur l'extension du Crétacé et de l'Eocène dans la colonie du Niger. C.R. Acad. Sci., Paris, T 193, pp. 1033-1034.

FURON (R.) - 1964.- Le Sahara. Géologie. Ressources minérales. 2ème éd. Payot, Paris, 313 p.

GAIDE (M.) - 1956.- Au Tchad les transformations subies par l'Agriculture traditionnelle sous l'influence de la culture cotonnière. Thèse principale. Agron. trop., XI, pp. 597-623, pp. 707-731.

GARDE (G.) - 1911.- Description géologique des régions situées entre le Niger et le Tchad et à l'est et au nord-est du Tchad. Thèse. Librairie scientifique A. Hermann et fils, Paris, 284 p., 3 pl., 2 cart.

GASTON (A.) - 1966.- Etude agrostologique au Kanem (Rép.du Tchad). I.E.M.V.T. Etudes agrostologiques n°11. Maisons-Alfort, 177 p. multigr., carte 1/400.000 h.t.

GASTUCHE (M.C.) - 1953.- Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalent. Pédologie, III, pp. 20-29.

GASTUCHE (M.C.) - 1959.- Etude de l'altération de la kaolinite par divers agents chimiques. Silic. industr., T XXIV, n°5-6, pp. 237-244, pp. 313-319.

GASTUCHE (M.C.) - DELVIGNE (J.) - FRIPIAT (J.J.) - 1954.- Altération chimique des kaolinites. Congr. Int. Sci. Sol. 5. 1954. Léopoldville, vol.II, pp. 439-456.

GAUTHIER (J.) - 1946.- a. La mise en valeur des pays du Logone. Agron. trop., I, pp. 339-355.

b. La culture du cotonnier en A.E.F. Rev. int. Bot. appl., n^{os} 279-280, pp. 3-10.

GAVAUD (M.) - 1967. a. Esquisse de l'histoire des sols du Niger centre et ouest méridional. Bull. ASEQUA, n°14-15, pp. 24-27.

GAVAUD (M.) - 1967. b. Interprétation chronologique des systèmes de sols des dunes fixées du Niger méridional. Congr. Int. Panafr. Préh. Et. Quat. 6. 1967. Dakar, 20 p. multigr.

GAZEL (V.) - HOURCQ (V.) - NICKLES (M.) - 1956.- Carte géologique du Cameroun au 1/1.000.000. Notice explicative. Bull. Dir. Mines Géol. Terr. Cameroun, n°2, 62 p.

GEDEON (T.G.) - 1952.- The possibility of bauxite formation. Act. geol. Hung., T.I, fasc. 1-4, pp. 65-77.

GENTIL (P.) - 1946.- Confins libyens. Lac Tchad, fleuve Niger. Paris. Lavauzelle.

GERARD (G.) - 1958.- Notice explicative de la carte géologique de l'A.E.F. au 1/2.000.000è. Paris, Impr. Typographique d'édition, 201 p.

GERMAIN (L.) - 1907.- Les mollusques terrestres et fluviatiles de l'Afrique Centrale française. in Mission Chari-Tchad (1902-1904). L'Afrique Centrale française. Récit du voyage de la mission A. CHEVALIER. Challamel, Paris, pp. 457-617.

GEZE (B.) - 1957.- Reconnaissance volcanologique du Tibesti. Bull. Dir. Mines Géol. A.E.F., n°8, pp.119-125.

GEZE (B.) - HUDELEY (H.) - VINCENT (P.M.) - WACRENIER (Ph.) - 1957.- Succession et âge probable des formations volcaniques du Tibesti (Sahara du Tchad. A.E.F.). C.R. Acad. Sci., Paris, T 245, pp. 2328-2331.

GILLET (H.) - 1957.- Compte rendu sommaire d'une mission dans le massif de l'Ennedi (Nord-Tchad) et au Djebel Marrah (Soudan). J. Agric. trop. Bot. appl., vol.IV, pp. 458-464.

GILLET (H.) - 1958.- Rapport sur une mission scientifique dans l'Ennedi et au Mourdi (Nord-Tchad). J. Agric. trop. Bot. appl., vol.V, pp. 768-782.

GILLET (H.) - 1959.- Une mission scientifique dans l'Ennedi (Nord-Tchad) et en Oubangui. J. Agric. trop. Bot. appl., vol.VI, pp. 505-573.

GILLET (H.) - 1961.- Compte rendu d'une mission sur un emplacement proposé pour le Ranch du Kanem (2ème version). J. Agric. trop. Bot. appl., VIII, n°8-9, pp. 303-337.

GILLET (H.) - 1963.- Etude des pâturages du Ranch de l'Ouadi Rimé. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 158 p.

GILLET (H.) - 1964.- a. Agriculture, végétation et sol du Centre et du Sud Tchad. Feuilles de Miltou-Dagéla-Koumra-Moussafoyo. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 108 p.

b. Agriculture, végétation et sol du Centre Tchad. Feuilles de Mongo-Melfi-Bokoro-Guéra. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 51 p.

GLANGEAUD (L.) - 1938.- Etudes quantitatives et expérimentales sur l'érosion et le transport par les eaux courantes. Rev. géogr. phys. géol. dyn., XI, pp. 323-370.

GLANGEAUD (L.) - 1941.-a.Evolution des minéraux résiduels et notamment du quartz dans les sols autochtones en A.O.F. C.R. Acad. Sci., Paris, T 212, pp. 862-864.

b.Corrélation statistique, classification et hiérarchie des facteurs intervenant dans la formation des sédiments. Bull. Soc. géol. Fr., (5), XI, pp.371-388.

GLANGEAUD (L.) - 1942.- Etude statistique de l'action du bioclimat sur les caractères chimicominéralogiques des sols de la Côte d'Ivoire (rapport silice-alumine). C.R. Acad. Sci., Paris, T 215, pp. 360-362.

GLAGOLEVA (M.A.) - 1961.- The problem of the effect of basin salinity on the accumulation of elements in its deposits. Dokl. Acad. Sci.U.R.S.S., vol. 136, n^{os} 1-6, pp. 441-443.

GORDON (M.) - TRACEY (Jr.J.I.),- ELLIS (M.W.) - 1958.- Geology of the Arkansas bauxite region. U.S. Geol. Surv., prof. pap. 299, 268 p. + photo, coupes, cart.

GOTTIS (Ch.) - SAINFELD (P.) - 1952.- Les gîtes métallifères tunisiens. Congr. géol. Int. XIX. 1952. Alger. Monogr. reg. 2ème sér. : Tunisie n°2, 104 p., 11 pl.

GOUAULT (J.) - 1937.- Vents de sable et brumes sèches dans la région du lac Tchad (1935-36 et 1936-37). Ann. Phys. Globe F.O.M., pp. 65-70.

GRASSE (P.P.) - 1950.- Termites et sols tropicaux. Rev. int. Bot. appl. Agric. trop., n^{os} 337-338, pp. 549-554.

GREENE (H.) - 1948.- Using salty land. F.A.O. Agric. stud., n°3. Rome. 52 p.

GRONDARD (A.) - 1964.- La végétation forestière au Tchad. Bois forêts trop., n°93, pp.15-34.

GROSSARD (Lt Cl) - 1925.- Mission de délimitation de l'Afrique Equatoriale Française et du Soudan Anglo-Egyptien. Paris, 343 p., 2 cart., 25 reprod. photogr.

GROVE (A.T.) - 1958.- The ancient erg of Hansaland and similar formations on the south side of the Sahara. Geogr. J. G.B., CXXIV, pp. 528-533.

GROVE (A.T.) - 1959.- A note on the former extend of Lake Chad. Geogr. J. G.B., CXXV, pp. 465-467.

GROVE (A.T.) - PULLAN (R.A.) - 1964.- Some aspects of the Pleistocene palaeogeography of the Chad Basin. In African Ecology and Human Evolution. Ed. H.C. HOWEL - F. BOURLIERE. Methuen & C°, London, pp. 230-245.

GSELL (J.) - 1953.- a. Esquisse géologique de la bordure orientale de la cuvette tchadienne. Bull. Mus. Hist. nat., 2è série, T XXV, pp.253-259.

b. Observations préliminaires sur la constitution géologique de la bordure orientale de la cuvette tchadienne. C.R. Acad. Sci., Paris, T 236, pp. 399-400.

GSELL (J.) - SONET (J.) - 1960.- Notice explicative sur la feuille Adré. Inst. Equat. Rech. Et. géol. min., carte géol. reconn., Ech.1/500.000. 42 p. carte h.t.

GUERMEUR (P.) - 1954.- Diatomées de l'A.O.F. IFAN. Catalogues et documents. n°XII. Dakar, 137 p., 24 pl.

GUICHARD (E.) - 1957.- Etude pédologique de la région inter-Logone, dépression de Fianga. ORSTOM - CSUT, Fort-Lamy, 26 p. multigr., 1 carte au 1/200.000.

GUICHARD (E.) - 1960.- a. Etude pédologique du paysannat de Dilbini. ORSTOM-CRT, Fort-Lamy, 43 p. multigr.
b. Etude pédologique de la zone Loka-Kabia. ORSTOM-CRT, Fort-Lamy, 104 p. multigr., 3 cart.

GUICHARD (E.) - 1961.- a. Etude pédologique des ouadis de N'Gouri à N'jigidada. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 112 p. multigr.
b. Etude pédologique du paysannat de Lagon. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 85 p. multigr.

GUICHARD (E.) - 1962.- a. Note sur les prélèvements pédologiques à Tikem et Daoua. ORSTOM - CRT, 19 p., 1 carte multigr.
b. Fermes de l'Agriculture. Boumo et Dilbini. 1960-1961. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 77 p. multigr.

GUICHARD (E.) - BARBERY (J.) - 1960.- Etude pédologique de la zone Eré-Loka. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 176 p. multigr. Résult. analyt. 67 p. multigr., 4 cart.

GUICHARD (E.) - BARBERY (J.) - 1961.- Etude pédologique de la ferme d'élevage de Fianga. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 55 p. multigr.

GUICHARD (E.) - BARBERY (J.) - POISOT (P.) - 1961.- a. Etude pédologique du périmètre de reboisement de Kélo. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 30 p. multigr.
b. Etude pédologique de périmètres de reboisement de Léré. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 88 p. multigr.

GUICHARD (E.) - BOUTEYRE (G.) - LEPOUTRE (B.) - 1959.- Etude pédologique des polders de Bol et Bol Guini. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 69 p. multigr. + cart., tabl., graph.

GUICHARD (E.) - LEPOUTRE (B.) - 1954.- Observations et analyses sur quelques sols des ouadis de bordure du lac Tchad (District de Massakory). ORSTOM, Stat. agric. Ba-Illi, 18 p. multigr.

GUICHARD (E.) - MARIUS (C.) - 1961.- Note sur l'érosion éolienne à la ferme de Dilbini. Campagne 1961. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 17 p.

GUICHARD (E.) - POISOT (P.) - 1961.- Etude pédologique de la zone Satégui-Déressia. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 100 p. multigr., 5 cart.

GUICHARD (E.) - POISOT (P.) - 1964.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000è. Feuille de Melfi. ORSTOM, n°19, Paris, 85 p., carte.

GUILLAUME (M.) - 1955.- Rapport de mission sur la mise en valeur du bassin du Logone et du Bas Chari (sept.-déc. 1954). Minist. Fr. O.M., Paris, 190 p. multigr.

GUILLIEN (Y.) - 1950.- Minéraux lourds et paléogéographie.Ann. Géogr., n°313, pp.1-12.

GUILLOTEAU (J.) - 1960.- Le problème des feux de brousse et brûlis dans la mise en valeur et la conservation des sols en Afrique, au sud du Sahara. Sols afr., vol. IV, pp. 65-102.

GUIRAUDIE (C.) - ROCH (E.) - 1952.- Les basaltes des plateaux de l'Adamaoua (Nord Cameroun) et les vieilles latérites. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 17-19.

GUISCAFRE (J.) - 1961.- Conservation des sols et protection des cultures par bandes brise-vent, cantons Doukoula, Tchatibali, Wina (Cameroun). Bois Forêts Trop., n°79, pp. 17-29.

GUY (A.) - 1890.- Le Sahara et la cause des variations que subit son climat depuis les temps historiques (Gulf-streams, courants polaires, courants équatoriaux). D. Heintz, Oran, 70 p.

HALLSWORTH (E.G.) - 1963.- An examination of some factors affecting the movement of clay in an artificial soil. J. Soil Sci. Vol.14, n°2, pp. 360-371.

HALLSWORTH (E.G.) - 1965.- The relationship between experimental pedology and soil classification. In Experimental Pedology. Ed. by E.G. Hallsworth, D.V. Crawford, Butterworths, London, pp. 354-374.

HANGOU (P.) - KORETZKY (G.) - TRIAL (L.) - 1946.- Etude de l'assèchement possible du lac Tchad. Bull. Soc. Et. cam., n°13-14, pp.7-26.

HARRISSON (J.B.) - 1933.- The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions. Imp. Bur. Soil Sci., Harpenden, G.B., 79 p. (réimprimé en 1954).

HAXAIRE (A.) - BLOCH (J.M.) - 1956.- Sorption de composés organiques azotés par la montmorillonite. Etude du mécanisme. Bull. Gr. fr. Argil., VIII, pp. 17-22.

HENIN (S.) - 1956.- Classification des minéraux argileux. Bull. Groupe fr. Argiles, VIII, n°3, pp. 29-35.

HENIN (S.) - 1957.- Essais de synthèse des minéraux argileux à partir de gels de silice. C.R. Acad. Sci., Paris, T 244, pp. 225-227.

HENIN (S.) - BETREMIEUX (R.) - 1948.- Essai de pédologie expérimentale. C.R. Acad. Sci., Paris, T 227, pp. 1393-1395.

HENIN (S.) - BETREMIEUX (R.) - 1950. a. Etude expérimentale de l'évolution des matières organiques dans le sol. C.R. Acad. Sci., Paris, T 231, pp. 550-552.

HENIN (S.) - BETREMIEUX (R.) - 1950. b.Essais de pédologie expérimentale. Int. Congr. Soil Sci. 4. 1950. Amsterdam, vol.I, pp. 149-151.

HENIN (S.) - FEODOROFF (A.) - GRAS (R.) - MONNIER (G.) - 1960.- Le profil cultural. Soc. Ed. Ing. Agric., Paris, XXIV-320 p.

HENIN (S.) - MONNIER (G.) - 1956.- Evaluation de la stabilité de la structure du sol. Congr. int. Sc. Sol. 6. 1956. Paris, vol.B, pp.49-52.

HENIN (S.) - MONNIER (G.) - COMBEAU (A.) - 1958.- Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. agron., pp. 71-90.

HENIN (S.) - PEDRO (G.) - 1957.- Mise en évidence d'un effet de dislocation du granite à biotite par traitement à l'eau oxygénée. C.R. Acad. Sci., Paris, T 245, pp. 1451-1453.

HESS (C.) - SCHOEN (U.) - 1964.- Tirsification et classification des vertisols. Al Awamia. Rev. Rech. Agron. Maroc. n°13, pp. 41-92.

HERVIEU (J.) - 1967.- Sur l'existence de deux cycles climato-sédimentaires quaternaires dans les Monts Mandara et leurs abords (Nord Cameroun). Conséquences morphologiques et pédogénétiques. C.R. Acad. Sci., Paris, T 264, sér.D, pp. 2624-2627.

HERVOUET (M.) - 1958.- Le B.E.T., s. éd., Largeau, 80 p. multigr.

HIGGINS (G.M.) - RAMSAY (D.M.) - PULLAN (R.A.) - LEEUW (P.N.) - 1961.- Report on the reconnaissance and semi-detailed soil surveys undertaken in north-east Bornu. Soil survey bull. Samaru, n°14.

HOGBEN (S.J.) - KIRK-GREENE (A.H.M.) - 1966.- The emirates of northern Nigeria. A preliminary survey of their historical traditions. Oxford Univ. Press, London, 638 p. fig., pl. cart.

HOSE (H.R.) - 1960.- The genesis of bauxite, the ores of aluminium. Int. Congr. Geol. 21 session. 1960. Norden, part. XVI, pp. 237-247.

HUARD (P.) - 1960.- L'âge pastoral au Tibesti. Notre Sahara n°12, pp.17-28.

HUARD (P.) - 1963.- Gravures rupestres de l'Ennedi et des Erdis. Bull. Inst. Rech. Sci. Congo, vol.2, pp.25-39.

HUBERT (H.) - 1934 - Les communications Logone-Bénoué. Ann. Phys. Globe F.O.M., n°6, pp.187-189.

HUDELEY (H.) - VINCENT (P.M.) - WACRENIER (Ph.) - 1957.- Mission d'exploration géologique et minière des confins Nord du Tchad (Borkou-Ennedi-Tibesti). Rapport de fin de mission 1956-1957). Dir. Mines Géol. A.E.F. Brazzaville. Réf. BET n°30. 166 p. multigr.

HUGOT (H.J.) - QUEZEL (P.) - 1957.- A propos de quelques graines fossiles du gisement préhistorique de Méniet. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N., T 48, pp. 370-372.

HUTCHINSON (J.) - DALZIEL (J.M.) - 1927-1936.- Flora of West tropical Africa. I 1927-1928, II 1931-1936. Crown Agents for the Colonies, London, 2 vol. 523 + 651 p.

HYDE (H.P.T.) - 1951.- Tree trunks preserved in a volcanic flow in Northern Cameroun . Amer. J. Sci., vol. 249, n°1, pp.72-77.

JACKSON (M.L.) - SHERMAN (G.D.) - 1953.- Chemical weathering of minerals in soils. Adv. Agron., V, pp. 219-318.

JACQUES-FELIX (H.) - 1947.- La vie et la mort du lac Tchad. S.T.A.T., Bull. agron., n°3, 96 p.

JACQUES-FELIX (H.) - 1950.- Géographie des dénudations et dégradations du sol au Cameroun. I.R.A.T., Bull. sci., n°3, 128 p.

JANZEN (W.K.) - MOSS (H.C.) - 1956.- Exchangeable cations in solodized-solonetz an solonetz-like soil of Saskatchewan. J. Soil Sci., vol.7, n°2, pp. 203-212.

JODOT (P.) - 1953.- Gastéropodes lacustres du Quaternaire de Tejerhi (Fezzan). Conséquences géologiques de leur migration à travers l'Afrique continentale. In Mission au Fezzan (1949). Inst. Hautes Et. Tunis, Publ. sci. n°1, Tunis, pp. 21-69.

JOFFE (J.) - 1949.- Pedology. Sec. edit. New-Jersey, 662 p.

JOLEAUD (L.) - LOMBARD (J.) - 1933.- Conditions de fossilisation et de gisement des mammifères quaternaires d'Ounianga-Kébir (Tibesti Sud Oriental). Bull. Soc. géol. Fr., (5), T III, fasc.3-4, pp. 239-243, 1 fig.

JONES (G.P.) - 1960.- Depositional history of the Bima sandstone of NE Nigeria. C.C.T.A.-C.S.A., Publ. n°55. Londres, p.15.

JONES (H.T.) - WILCOX (J.S.) - 1929.- Studies in soil genetics. J. Soc. Chem. Ind. 48, 304 T 308 T.

KAMURA (T.) - TAKAI (Y.) - ISHIKAWA (K.) - 1963.- Microbial reduction mechanism of ferric iron in paddy soils. Soil Sci. Plant. Nutr., vol.9, n°5, pp. 5-9.

KARPOFF (R.) - 1952.- Quelques exemples de tectonique récente dans le Bas Sahara. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 245-247.

KAWAGUCHI (K.) - MATSUO (Y.) - 1960.- The principle of mobilization and immobilization of iron oxide in soils and its application to the experimental production of podzolic soil profiles. C.R. Conf. Intern. Sci. Sol. 7, Madison, v.42, pp.305-313.

KELLER (W.D.) - 1958.- Argillation and direct bauxitization in terms of concentrations of hydrogen and metal cations of surface of hydrolizing aluminium silicates. Bull. Amer. Petrol. Geol. Assoc., vol.42, 2, pp. 233-253.

KELLERMAN (J.) - 1956.- L'eau, facteur d'érosion et de fertilité. "Nos sols" Bull. (Brazzaville), n°1, pp. 23-28.

KELLERMAN (V.V.) - TSYURUPA (I.G.) - 1962.- Problem of the strength of the bond between iron films and minerals found in the soil. Soviet soil sci., pp. 63-71.

KILLIAN (C.) - 1934.- Une variation de climat dans la période historique : le dessèchement progressif du Sahara depuis l'époque précambrienne et les Garamantes. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 110-111.

KILLIAN (C.) - 1937.- Esquisse géologique du Sahara français à l'est du 6° de longitude. (Préparation de la carte géologique internationale de l'Afrique; feuille 2). Chron. Min. Colon. n°58, pp. 21-22, carte dpl. h.t.

KILLIAN (C.) - FEHER (D.) - 1935.- Recherches sur les phénomènes microbiologiques des sols sahariens. Ann. Inst. Pasteur, Paris, 35, pp. 573-622.

KING (L.C.) - 1953.- Canons of landscape evolution. Geol. Soc. Amer. Bull., vol. 64, nr 7, pp. 721-752.

KING (L.C.) - 1962.- Morphology of the earth. Oliver and Boyd. Edinburgh, 699 p.

KOECHLIN (J.) - 1956.- Rapport de mission botanique dans le Territoire du Tchad (novembre-décembre 1955). Bull. I.E.C., n°12, pp. 133-199.

KONONOVA (M.M.) - 1951.- Le problème de l'humus du sol et recherches actuelles sur ce sujet. Akad. Nauk. SSSR, M., 390 p.

KONONOVA (M.M.) - 1967.- Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. 2e ed. Pergamon Press, Oxford, 544 p.

KONONOVA (M.M.) - ALEKSANDROVA (P.V.) - TITOVA (N.A.) - 1964.- Decomposition of silicates by organic matter of soil. Sov. Soil Sci., n°10, pp. 1005-1014. Soils and Fertilizers 1965, vol.XXVIII, n°3, p.115, n°755.

KOUHESTANI (E.) - 1964.- Contribution à l'étude de l'effet des ions alcalins et alcalino terreux sur quelques propriétés physiques du sol et en particulier sur sa structure. Thèse. ORSTOM, Paris, 63 p. multigr.

KRUMBEIN (W.C.) - CARRELS (R.M.) - 1952.- Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials. J. Geol., 60, pp. 1-33.

KRUMBEIN (W.C.) - PETTIJOHN (F.J) - 1938.- Manual of sedimentary petrography. Appleton-Century-Crofts, New-York, XIV, 549 p.

LACROIX (A.) - 1913.- Les latérites de la Guinée et les produits d'altération qui leur sont associés. Nouv. Arch. Mus. Hist. nat., 5è sér. t 5, pp. 255-356.

LACROIX (A.) - 1922-1923.- Minéralogie de Madagascar. Challamel, Paris, 3 t. 624+694 + 450 p.

LAGRULA (J.) - 1953.- Sur les anomalies gravimétriques de la région du lac Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 237, pp. 1744-1746.

LAGRULA (J.) - 1957.- Imperfection de l'équilibre isostatique au Sahara. C.R. Acad. Sci., Paris, T 244, pp. 2951-2952.

LANNOY (C.R. de) - 1961.- Dégradation des cours d'eau intermittents dans le nord de la Nigéria. C.C.T.A.-C.S.A., Conf. Interafr. Hydrol. 1961. (Nairobi) HYD (61) 95.

LAPAYRE - 1934.- Les vents de sable en A.E.F.- Ann. Phys. Globe F.O.M., n°1, pp. 28-29.

LAPLANTE (A.) - BACHELIER (G.) - 1954.- Un processus pédologique de la formation des cuirasses latéritiques dans l'Adamaoua (Nord-Cameroun). Rev. Géomorph. dyn., pp. 214-219 .

LAPLANTE (A.) - COMBEAU (A.) - LEPOUTRE (B.) - BACHELIER (G.) - 1951.- Prospection pédologique de la rive camerounaise du Logone en vue de la riziculture. I.R.CAM, n°18, 25 p. multigr., carte 1/100.000.

LAPPARENT (J.de) - 1930.- Les bauxites de la France méridionale. Mém. Carte géol. France, Imp. Nat., Paris, 187 p.

LAPPARENT (J.de) - 1932.- Classification des argiles sédimentaires. C.R. Acad. Sci., Paris, T 195, pp. 257-258.

LAPPARENT (J.de) - 1937.- Les phénomènes anciens de rubéfaction dans le Sahara central. C.R. Acad. Sci., Paris, T 205, pp. 196-198.

LAUDELOUP (H.) - MEYER (J.) - 1954.- Les cycles d'éléments minéraux et de la matière organique en forêt équatoriale congolaise. Congr. Int. Sci. Sol. 5è. 1954. Léopoldville. Vol.II, pp. 267-272.

LAUDELOUP (H.) - MEYER (J.) - PEETERS (A.) - 1960.- Les relations quantitatives entre la teneur en matière organique du sol et le climat. Agricultura, vol. VIII, 2è sér. pp. 103-140.

LEBEUF (A.) - 1959.- Les populations du Tchad (nord du 10è parallèle). P.U.F., 130 p.

LEBEUF (J.P.) - 1962.- Archéologie tchadienne; les Sao du Cameroun et du Tchad. Hermann, Paris, 147 p.

LEBEUF (J.P.) - 1963.- Prehistory, Proto-history and history in Tchad. Journ. histor. Soc. Nigeria, Ibadan, vol.2, n°4, pp. 593-601.

LEFEBURE (P.) - 1947.- Atlas pour la détermination des diatomées. Labor. de Micrographie, Paris, 31 pl.

LEFRANC (J.P.) - 1952.- Des couches à bois fossiles tertiaires du Tinrhert occidental et de Bel Guebbour (Sahara central). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 253-254.

LEFRANC (J.P.) - 1954.- Un siluridé dans le Quaternaire ancien de Fort-Flatters (Sahara central). C.R. somm. Soc.geol. Fr., pp. 424-425.

LEGOUX (P.) - HOURCQ (V.) - 1943.- Esquisse géologique de l'A.E.F. Bull. Serv. Mines A.E.F., n°1, 96 p., carte 1/3.500.000.

LELEAN (P.S.) - 1904.- An eocene outcrop in central Africa. Geol. Mag. (Decade V,vol.I n° VII), pp. 290-291, carte.

LELUBRE (M.) - 1946.- a. A propos des calcaires de Mourzouk (Fezzan). C.R. Acad. Sci., Paris, T 223, pp. 359-361.
b. Le Tibesti septentrional : esquisse morphologique et structurale. C.R. Acad. Sci. Col. Paris, pp. 337-357.

LELUBRE (M.) - 1949.- Géologie du Fezzan oriental. Bull. Soc. Géol. Fr., T XIX, pp. 251-261.

LENEUF (N.) - 1959.- L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Thèse. Sc. Paris. ORSTOM, Paris, 210 p.

LENEUF (N.) - 1966.- Exposé introductif sur le processus de lessivage dans les sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol.IV, n°4, pp. 25-27.

LEPERSONNE (J.) - 1960.- Quelques problèmes de l'histoire géologique de l'Afrique au sud du Sahara, depuis la fin du Carbonifère. Ann. Soc. géol. Belg., LXXXIV, n°1, pp. 21-85, 6 fig.

LEPOUTRE (B.) - 1952.- Etude pédologique des berges du Chari entre Fort-Lamy et Mani (côté Tchad). Service de l'Agriculture du Tchad, 10 p. multigr., carte.

LEPOUTRE (B.) - 1955.- Rapport de mission au Gézira (Soudan). Service de l'Agriculture du Tchad, Fort-Lamy, 45 p. multigr.

LEPOUTRE (B.) - 1956.- Premiers résultats sur l'évolution des sols sous culture dans le casier "A" Nord Bongor. Service de l'Agriculture du Tchad, Fort-Lamy, 44 p. multigr.

LETOUZEY (R.) - 1958.- Phytogéographie camerounaise. in Atlas du Cameroun. I.R.CAM, Yaoundé, 6 p., carte 1/2.000.000.

LEWIS (G.C.) - FOSBERG (M.A.) - 1964.- La genèse et les propriétés des sols solodisés de type solonetz dans les sierozems et les sols bruns d'Idaho. Congr. Int. Sci. Sol, 8, Rés. VII, pp. 145-147.

LHOTE (H.) - 1936.- Une reconnaissance au coeur du Sahara. Géographie, 65, n°1, pp. 60-65.

LHOTE (H.) - 1952.- Contribution à l'étude du Néolithique au Sahara. Congr. préhist. Fr. 13. 1950. Paris, pp. 436-445.

LHOTE (H.) - 1955.- L'assèchement du Sahara. Geographia, n°42, pp. 20-25.

LIVINGSTONE (D.A.) - 1967.- Pollen investigations and Paleolimnological studies in East Africa. Congr. Int. Panafr. Preh. Et. Quat. 6. 1967. Dakar, rés. p. 57.

LOMBARD (A.) - 1953.- Les rythmes sédimentaires de la sédimentation générale. Essai de synthèse. Rev. Inst. fr. Pétrole, vol.VIII, n° spéc., pp. 9-45, 23 fig.

LOMBARD (J.) - 1934.- Remarques sur la structure des latérites en Oubangui-Chari (A.E.F.) - Chron. min. col., n°30, pp. 288-289.

LOMBARD (J.) - 1935.- Quelques remarques sur le Quaternaire de l'Afrique tropicale et équatoriale. J. Soc. Africanistes, T.V, fasc.2, pp. 175-180.

LOMBARD (J.) - 1939.- Les altérations superficielles en A.E.F. et leur utilisation dans l'exploration géologique et minière. in Etude des altérations superficielles. Publ.Bur. Et. géol. min. col., n°12. Paris, pp. 58-74.

LORMAND (J.) - 1951.- Extraits du rapport annuel juillet 1950-juin 1951. Serv. Mines Cameroun, N'Gaoundéré, 30 p. multigr.

LOSSAINT (P.) - 1959.- Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières. Ann. Agron., pp. 369-414 et pp. 493-542.

LOUGHNAN (F.C.) - BAYLISS (P.) - 1961.- The mineralogy of the bauxite deposits near Weipa Queensland. Amer. Mineralogist., vol.46, n°1-2, pp. 209-217.

LUCAS (G.) - 1942.- Description géologique et pétrographique des Monts de ghar Rouban et du Sidi el Adeb (frontière algéro-marocaine). Thèse Paris 1942. Impr. Barnéoud, Laval, 538 p.

LUCAS (G.) - 1955.- a. Caractères pétrographiques de calcaires noduleux à faciès ammonitico rosso, de la région méditerranéenne. C.R. Acad. Sci., Paris, T 240, pp. 1909-1911.

b. Caractères géochimiques et mécaniques du milieu générateur des calcaires noduleux à faciès ammonitico rosso. C.R. Acad. Sci., Paris, T.240, pp. 2000-2002.

c. Signification paléoocéanographique des calcaires noduleux à faciès ammonitico rosso. C.R. Acad. Sci., Paris, T 240, pp. 2342-2344.

d. Oolithes marines actuelles et calcaires oolithiques récents sur le rivage africain de la Méditerranée orientale (Egypte - Sud Tunisien). Stat. Océanogr. Salammbô, Bull., n° 52, pp. 19-38, 3 fig., 3 pl.

LUCAS (G.) - 1966.- Fonds durcis, lacunes sous-marines, séries condensées et ondes marines séismiques ou "Tsunami". C.R. Acad. Sci., Paris, T 262, sér. D, pp. 2141-2144.

LUCAS (G.) - VILLE (P.) - 1967.- Etablissement d'une granulométrie par la méthode des carrés proportionnels. C.R. Acad. Sci., Paris, T.264, sér.D, pp. 442-445.

MAIGNIEN (R.) - 1956.- Classification des sols subarides au Sénégal. Congr. Int. Sci. Sol. 6. 1956. Paris, vol.E, pp. 469-472.

MAIGNIEN (R.) - 1958.- a. Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique occidentale. Thèse, Univ. Strasbourg. Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., n° 16, Strasbourg, 239 p.

b. Différents processus de cuirassement en A.O.F. Conf. Interafr. Sols. 2. 1954. Léopoldville, vol.II, pp. 1469-1486.

MAIGNIEN (R.) - 1960.- Influences anciennes sur la morphologie, l'évolution et la répartition des sols en Afrique tropicale de l'Ouest. Int. Congr. Soil Sci. 7. 1960. Madison, Wisc., vol.IV, pp. 171-176.

MAIGNIEN (R.) - 1961.- Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions sud-ouest du Sénégal (République du Sénégal). Sols afr., VI, pp. 113-173.

MAIGNIEN (R.) - 1966.- Intensité de la ferrallitisation. Caractérisation des différents stades. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol.IV, n°4, pp. 21-24.

MAIRE (R.) - MONOD (Th.) - 1949.- Etudes sur la flore et la végétation du Tibesti. Mém. I.F.A.N, n°8. Dakar, 143 p.

MAISTRE (C.) - 1895.- A travers l'Afrique centrale, du Congo au Niger. 1892-1893. Hachette, Paris, 307 p., 4 pl.

MANGUIN (P.) - 1962.- Diatomite et milieu désertique. In Missions Berliet "Ténéré-Tchad". Arts et Métiers graphiques, Paris, pp. 271-275, 2 photos.

MARGAT (J.) - 1954.- Intersection de niveaux de terrasses quaternaires en domaine pré-saharien (Sud-Est marocain). C.R. Acad. Sci., Paris, T 238, pp. 367-369.

MARGAT (J.) - 1958.- Rôle des eaux souterraines dans la genèse actuelle des dépôts salins en zone aride (Maroc pré-saharien). C.R. Acad. Sci., Paris, T 247, pp. 1368-1370.

MARIUS (C.) - 1961.- a. Etude de l'érosion et du ruissellement à la ferme de Békao. Premiers résultats (Avril 1961-Oct. 1961). ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 22 p. multigr. 8 graph.

b. Evolution des sols sous culture dans les fermes cotonnières du Tchad. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 108 p. multigr.

MARIUS (C.) - 1962.- Evolution des sols sous cultures dans les fermes cotonnières du Tchad. Campagne agricole 1961-1962. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 154 p. multigr.

MARIUS (C.) - 1964.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000e. Feuille de Dagela. ORSTOM, n°17. Paris, 47 p., carte.

MARIUS (C.) - BARBERY (J.) - 1961.- Evolution des sols jeunes sur argiles récentes et sur argiles à nodules calcaires du Logone dans le casier A Nord Bongor. Campagne 1960 - Mai 1961. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 19 p. multigr.

MARIUS (C.) - BARBERY (J.) - 1962.- Etude pédologique de la cuvette de Doba. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 53 p. multigr.

MARIUS (C.) - BARBERY (J.) - 1964.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000è. Feuille de Moussafoyo. ORSTOM, n°18. Paris, 49 p., carte.

MARIUS (C.) - BARBERY (J.) - 1967.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000è. Feuille de Fort-Archambault. ORSTOM, n°29, 40 p., carte.

MARIUS (C.) - POISOT (P.) - 1963.- Etude des périmètres de reboisements de Koundoul, Moundou, Baïbokoum. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 92 p., multigr.

MARTIN (D.) - 1959.- Etude pédologique de la plaine du Logone au 1/10.000. 3 secteur Djafga-Pouss. I.R.CAM, Yaoundé, 35 p., multigr.

MARTIN (D.) - 1960. a. Etude pédologique de la plaine du Logone au 1/10.000. 4 secteur Dereissou-Madalam. I.R.CAM, Yaoundé, 16 p., multigr., cart. au 1/10.000.

MARTIN (D.) - 1960. b. Etude pédologique de la plaine du Logone. 5 secteur Nord Pouss. I.R.CAM, Yaoundé, 25 p. multigr., carte.

MARTIN (D.) - 1963.- Carte pédologique du Nord-Cameroun au 1/100.000. Notice sur la feuille de Kaélé. I.R.CAM, Yaoundé, 101 p. multigr., carte.

MARTIN (D.) - 1966.- L'hydromorphie dans les sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. IV, n°4, pp. 39-43.

MARTIN (D.) - SIEFFERMANN (G.) - VALLERIE (M.) - 1966.- Les sols rouges au Nord-Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol.IV, n°3, pp. 3-28.

MASON (B.) - 1952.- Principles of geochemistry. Wiley and sons, New-York, 276 p., 42 fig.

MASSON (H.) - 1949.- La température au sol au cours d'un feu de brousse au Sénégal. Conf. afr. Sols. 1948. Goma. Bull. Agric. Congo Belge, vol. XL, n°2, pp. 1933-1940.

MATSCHINSKI (M.) - 1955.- La formation des dunes dans les déserts. Nature, Paris, n°3241, pp. 169-175.

MAUNY (R.) - 1949.- Etat actuel de nos connaissances sur la préhistoire de la colonie du Niger. Bull. IFAN, XI, pp. 141-158.

MEAD (W.J.) - 1915.- Occurence and origin of bauxite deposits in Arkansas. Econ. Geol., X, pp. 28-54.

MECKELEIN (W.) - 1959.- Forschungen in der zentralen Sahara. Klimageomorphologie. G. Westermann Verl. Braunschveig. C.R.CAPOT-RE. Trav. Inst. Rech. sahar., XIX, pp. 266-269.

MENCHIKOFF (N.) - 1957.- Les grandes lignes de la géologie saharienne. Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., (2), 1, fasc.1, pp. 37-45, 1 fig.

MERMILLOD (J.) - 1961.- a. Note préliminaire sur l'hydrogéologie sédimentaire du Logone en amont de Laï au Tchad. I.E.R.G.M., 13 p., multigr.
b. Note préliminaire sur les structures et le remplissage de la fosse de Doba. I.E.R.G.M., 52 p. multigr.

MERMILLOD (J.) - 1962.- Proposition de sondage hydrogéologique dans la plaine de Doba. B.R.G.M., 4 p. multigr., plan.

MESTRAUD (J.L.) - 1958.- Esquisse géologique du Tchad. In Le Tchad. Chambre de Commerce, Fort-Lamy, pp. 24-30, carte.

MICHEL (P.) - 1959.- L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute-Gambie. Ses rapports avec la prospection minière. Rev. Géomorph. dyn., pp. 117-143.

MICHEL (P.) - 1967.- Les grandes étapes de la morphogenèse dans les bassins des fleuves Sénégal et Gambie pendant le Quaternaire. Congr. Panafr. Préh. Et. Quat. 6. Dakar, 29 p. multigr.

MICHEL (P.) - ELOUARD (P.) - FAURE (H.) - 1967.- Nouvelles recherches sur le Quaternaire récent de la région de Saint Louis (Sénégal). Lab. Géol. Fac. Sci. Univ. Dakar. Rapport n°17, 35 p.

MILLOT (G.) - 1949.- Relation entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses. Bull. Géol. appl. Prosp. min., Nancy, T.2, n°2-3-4, 352 p., 20 fig., 7 pl.

MILLOT (G.) - 1950.- Comparaison entre les indications de la pédologie et de la géologie au sujet de la genèse des minéraux argileux. Congr. Int. Sci. Sol. 4. 1950. Amsterdam, vol. III, pp. 37-40.

MILLOT (G.) - 1960.- Silice, silex, silicification et croissance des cristaux. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr. T 13, pp. 129-146.

MILLOT (G.) - 1964.- Géologie des argiles. Altérations-sédimentologie-géochimie. Paris, Masson, 499 p., 75 fig., 12 pl., 15 tabl.

MILLOT (G.) - BONIFAS (M.) - 1955.- Transformation isovolumétrique dans les phénomènes de latéritisation et bauxitisation. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., T 8, pp. 3-10.

MILLOT (G.) - RADIER (H.) - MULLER FEUGA (R.) - DEFOSSEZ (M.) - WEY (R.) - 1959.- Sur la géochimie de la silice et les silicifications sahariennes. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., T 12, pp. 3-14, 2 fig.

MOHR (E.C.J.) - 1944.- Soils of Equatorial regions. Edwards Brothers, Ann Arbor, Mich., 766 p.

MOHR (E.C.J.) - VAN BAREN (F.A.) - 1954.- Tropical soils. A critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation. W.Van Hoeve, The Hague and Bandung., Intersc.publ., London, New-York, 498 p., 100 fig., 3 pl. coul.

MONAGHAN (P.H.) - LYTLE (M.L.) - 1956.- The origin of calcareous ooliths. J. Sedim. Petrol., vol.26, n°2, pp. 111-118.

MONOD (Th.) - 1964.- The late tertiary and pleistocene in the Sahara. In African ecology and human evolution. Ed. A.C.Howell, F.Bourlière. Methuen & C°, London, pp. 117-229.

MONOD (Th.) - CAILLEUX (A.) - 1950.- Sur les conditions désertiques anciennes au Sahara. Bull. IFAN, XII, pp. 530-531.

MOORE (E.S.) - MAYMARD (J.E.) - 1919.- Solution, transportation and precipitation of iron and silica. Econ. Geol. 24, pp. 272-303.

MORET (L.) - 1955.- Précis de géologie. 2ème éd. Masson, Paris, 669 p.

MORTELMANS (G.) - 1956.- Le Pléistocène africain et sa stratigraphie au IIIè Congrès Pan-Africain de Préhistoire. (Livingstone), juillet 1955. Bull. Soc. belge Géol. Paléontol. Hydrol., LXV, n°1, pp. 58-73.

MOSNIER (M.) - 1963.- Etude agrostologique des fermes du Service de l'Agriculture de la République du Tchad. I.E.M.V.T. Etudes agrostologiques n°4. Maisons-Alfort, 80 p. multigr.

MUCKENHAUSEN (E.) - 1962.- Entstchung, Eigenschaften und Systematik der Boden der Bundesrepublic Deutschland. DLG-Verlags. GMBH, Frankfurt am Main, 148 p., 60 profils h.t.

MUCKENHAUSEN (E.) - 1964.- Die schweren Böden Europas. Z. Pfl. Ernähr. Dung. Bodenk., Bd 104, pp. 97-109.

MUIR (J.W.) - LOGAN (J.) - BOWN (J.C.) - 1964.- The mobilization of iron by aqueous extracts of plants. II Capacities of the amino-acid and organic-acid fractions of pine-needle to maintain iron in solution. J.Soil Sci., vol.15, n°2, pp. 226-237, 9 fig.

MUKHERJEE (J.N.) - CHATTERJEE (B.) - RAY (A.) - 1948.- Libération of H^{+}, Al^{3+}, Fe^{3+} ions from pure clay minerals on repeated salt treatment and desaturation. J. Coll. Sc., 2, pp. 247-255, pp. 437-445.

MURAT (M.) - 1937.- Végétation de la zone pré-désertique en Afrique Centrale (Région du Tchad). Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N., T 28, pp. 19-83, 9 pl., carte.

NACHTIGAL (G.) - 1879-1889.- Sahara und Sudan. Ergebrusse sechsjahringer Reisen in Afrika von- Berlin, 3 vol., 768 + 790 + 550 p., ill.

NESTEROFF (W.D.) - 1956.- De l'origine des oolithes. C.R. Acad. Sci., Paris, T 242, pp. 1047-1049.

NICKLES (M.) - HOUCQ (V.) - 1952.- a. Notice explicative de la carte géologique de l'A.E.F. et du Cameroun au 1/2.000.000e. Impr. Nat., Paris, 109 p.
b. Formation géologique de la cuvette tchadienne. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy, 13 p.

NYE (P.H.) - 1955.- Laboratory studies on the development of a tropical catena over granitic gneiss. J. Soil Sci., vol.6, pp. 63-72.

O'BRIEN (T.P.) - 1939.- The prehistory of Uganda Protectorate (with a chapter on the pleistocene succession by J.D. Solomon and an appendix on the mammalian fossils by A.Tindell Hopwood). Cambridge University Press, Cambridge, 319 p.

ORSTOM - Service hydrologique. 1953.- Monographie hydrologique du Logone supérieur. ORSTOM - CSLT, Paris, 79 p. multigr.

ORSTOM - Service hydrologique. 1954.- Monographie hydrologique du Logone inférieur. ORSTOM - CSLT, Paris, 150 p. multigr.

ORSTOM - Service hydrologique. 1955.- a. Résultats bruts des études d'évaporation sur nappe d'eau libre dans les bassins du Chari et du Logone. Campagnes 1953-1954. ORSTOM - CSLT, Paris, 6 p. multigr.

b. Premières mesures de débit solide sur Chari et Logone en 1954. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy, 13 p. multigr.

ORSTOM - Service hydrologique. 1956.- a. Crue du Logone entre Laï et Gamsaï. Etude des débits et déversements. ORSTOM - CSLT, Paris, 26 p. multigr.

b. Régime du Logone entre Gamsaï et le Chari. Pertes et récupérations. ORSTOM - CSLT, Paris, 38 p. multigr.

c. Crue du Logone entre Laï et Gamsaï. Etude des débits et déversements. Supplément 1955 à la monographie du Logone inférieur. ORSTOM - CSLT, Paris, 26 p. multigr.

ORSTOM - Service hydrologique. 1959.- Etude de la navigabilité du Chari entre Bousso et Fort-Lamy. Rapport définitif des campagnes 1955-1957-1958. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy, 104 p. multigr., cart., tabl., 17 plans.

ORSTOM - Service hydrologique. 1961.- Reconnaissance hydrologique dans le massif du Tibesti. Campagne 1960. ORSTOM, Paris, Serv. hydrol., 20 p. multigr., carte.

OULIANOFF (N.) - 1959.- Gisements d'eau fossile dans la croûte terrestre. C.R. Acad. Sci., Paris, T 248, pp. 2782-2784.

OULIANOFF (N.) - 1958.- L'eau comme sédiment. Eclogae geol. Helv., vol.51, n°3, pp.696-706.

PAIGE (S.) - 1955.- Sources of energy responsible for the transformation and deformation of the earth's crust. Geol. Soc. Amer., spec.pap., n°62, pp. 331-342.

PALLMANN (H.) - 1947.- Pédologie et phytosociologie. Conf. Pédol. Méd. 1947. Alger-Montpellier, pp. 1-36.

PAQUET (H.) - BOCQUIER (G.) - MILLOT (G.) - 1966.- Néoformation et dégradation des minéraux argileux dans certains solonetz solodisés et vertisols du Tchad. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., T 19, pp. 295-321.

PEDRO (G.) - 1964.- Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse Sc. nat. I.N.R.A., Paris, 345 p.

PELISSIER (P.) - 1951.- Sur la désertification des territoires septentrionaux de l'A.O.F. Cah. O.M., n°13, pp. 80-85.

PELLOUX (P.) - 1963.- Méthodes de détermination : des cations échangeables, de la capacité d'échange dans les sols courants calcaires ou non ... mais ni salés, ni gypseux. ORSTOM - CST Bondy, 55 p.

PERRET (R.) - 1936.- Travaux récents sur le Sahara oriental et ses abords. Rev.Géogr. phys. géol. dyn., IX, pp. 221-224.

PERRIN (R.) - 1960.- L'énigme du bilan du sodium. La théorie persédimentaire et le bilan du chlore. C.R. Acad. Sci., Paris, T 250, pp. 1766-1769.

PERRODON (A.) - 1962.- Cycle sédimentaire et déformation des bassins. C.R. Acad. Sci., Paris, T 254, pp. 2614-2616.

PETIT (P.) - 1907.- Diatomées récoltées par la mission Chevalier au Chari-Tchad. In L'Afrique centrale française. Mission Chari-Tchad (1902-1904). Challamel, Paris, pp. 691-698.

PIAS (J.) - 1958.- Transgressions et régressions du lac Tchad à la fin de l'ère tertiaire et au Quaternaire. C.R. Acad. Sci., Paris, T 246, pp. 800-803.

PIAS (J.) - 1959.- a. Essai de classification des sols de la cuvette tchadienne. Conf. Interafr. Sols. 3. 1959. Dalaba, vol.I, pp. 443-447.
b. Etude pédologique de la région est du Tchad, plaines de piedmont, massifs du Ouaddaï et de l'Ennedi. Bull. A.F.E.S., pp. 536-544.

PIAS (J.) - 1960.- a. Sédimentation au Quaternaire dans l'est de la cuvette tchadienne (massifs du Ouaddaï et de l'Ennedi, plaines de piedmont). C.R. Acad. Sci., Paris, T 250, pp. 1514-1516.
b. Etude pédologique des secteurs d'abreuvement de Bokoyo et Dabkaraye. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 69 p. multigr., 2 cart. 1/50.000.
c. Sols de la région est du Tchad. Plaines de piedmont. Massifs du Ouaddaï et de l'Ennedi. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 2 vol. 302 p. multigr.,graph.

PIAS (J.) - 1961.- Etude pédologique d'ouadis dans la région de Mao et Tiona. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 48 p. multigr., graph.

PIAS (J.) - 1962.- a. Etude de la salinité des eaux de la nappe et de celle des sols dans le polder expérimental de Bol Guini. C.C.T.A./C.S.A. Réunion sur l'aménagement régional du Bassin du Tchad et Réunion des Hydrologues des Pays riverains du Tchad. 1962. Fort-Lamy, 3 p. multigr., 5 graph.
b. Etude de la salinité des eaux du Logone, du Chari et de celles de différentes nappes sur le pourtour du lac, dans le Bahr el Ghazal et au Borkou. C.C.T.A./C.S.A. Réunion sur l'aménagement régional du Bassin du Tchad et Réunion des Hydrologues des Pays riverains du Tchad. 1962. Fort-Lamy, 7 p. multigr., 1 graph.
c. Les sols du Moyen et Bas Logone, du Bas Chari, des régions riveraines du lac Tchad et du Bahr el Ghazal. Mém. ORSTOM n°2, Paris, 438 p., 8 cartes 1/200.000, 5 cartes 1/100.000, 2 cartes 1/1.000.000.

PIAS (J.) - 1964.- a. Les sols du Tchad. Congr. Int. Sci. Sol, 8. 1964. Bucarest, Vol.5, pp. 145-151.

b. Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuilles d'Abéché, Biltine, Oum Hadjer. ORSTOM, n°13, Paris, 105 p., 3 cart. h.t.

c. Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuilles de Fort-Lamy, Massenya, Mogroum. ORSTOM, n°14, Paris, 103 p., 3 cart. h.t.

PIAS (J.) - 1967.- a. Quatre deltas successifs du Chari au Quaternaire (Républiques du Tchad et du Cameroun). C.R. Acad. Sci., Paris, T 264, sér.D, pp. 2357-2360.

b. Chronologie du dépôt des sédiments tertiaires et quaternaires dans la cuvette tchadienne (République du Tchad). C.R. Acad. Sci., Paris, T 264, sér.D, pp. 2432-2435.

c. Les formations tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne. Présentation de l'esquisse géologique au 1/1.000.000. Congr. Panafr. Préh. Et. Quat. 6. Dakar. 13 p. multigr. 4 fig.

PIAS (J.) - BARBERY (J.) - 1960.-a.Etude du périmètre de reboisement d'El Amadji. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 29 p. multigr., carte 1/10.000.

b.Evolution de la salinité dans le polder de Bol Guini en 1959 et 1960. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy. I : 108 p. multigr. II : Résult. analyt., 68 p. multigr., 5 cart. 1/10.000, graph.

PIAS (J.) - BARBERY (J.) - 1961.- a. Evolution de la salinité dans le polder de Bol Guini. 1961 - ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 58 p. multigr., 25 graph.

b. Etude pédologique du Ranch de l'Ouadi Rimé. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 113 p. multigr., 3 cart. au 1/50.000.

PIAS (J.) - BARBERY (J.) - 1962.- Etude pédologique du ranch de l'Ouadi Rimé (partie nord du Ranch). ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 73 p. multigr., 5 cartes, 2 graph.

PIAS (J.) - BARBERY (J.) - 1964.-Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuille de Miltou. ORSTOM, n°15, Paris, 69 p. carte h.t.

PIAS (J.) - BARBERY (J.) - 1965.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuilles Lac Iro-Djouma. ORSTOM, n°25, Paris, 98 p., 2 cart. h.t.

PIAS (J.) - GUICHARD (E.) - 1956.- Sols hydromorphes à alcalis et salés à alcalis de la partie méridionale de la cuvette tchadienne (Tchad-Nord Cameroun). Congr. Int. Sci. Sol. 5. 1956. Paris, vol.E, pp. 425-432.

PIAS (J.) - GUICHARD (E.) - 1957.- Origine et conséquences de l'existence d'un cordon sableux dans la partie sud-ouest de la cuvette tchadienne. C.R. Acad. Sci., Paris, T 244, pp. 791-793.

PIAS (J.) - GUICHARD (E.) - 1959.- Etude pédologique des rives du lac Tchad de Djimtilo à Bol. Congr. Interafr. Sols, Dalaba. Conf. Interafr. Sols. 3. 1959. Dalaba, vol. I, pp. 449-456.

PIAS (J.) - GUICHARD (E.) - BOUTEYRE (G.) - LEPOUTRE (B.) - 1959.- Caractéristiques générales des polders du lac Tchad et les problèmes de leur mise en valeur. Conf. Interafr. Sols, 3. 1959. Dalaba, vol.I, pp. 265-272.

PIAS (J.) - POISOT (P.) - 1962.- Sols de la palmeraie de Largeau. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 71 p. multigr., 2 graph., carte 1/100.000.

PIAS (P.) - POISOT (P.) - 1964.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuilles de Bokoro-Guéra-Mongo. ORSTOM, n°16, Paris, 146 p., 3 cart. h.t.

PIAS (P.) - POISOT (P.) - 1966.- Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuilles de Abou-Déïa, Mangalmé. ORSTOM. n°28 118 p., 2 cart. h.t.

PIAS (J.) - SABATIER (J.) - 1964.- Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et de la salinité dans les polders du lac Tchad. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 144 p. multigr., fig., graph.

PIMIENTA (J.) - 1950.- Les nodules de tuf et la formation des croûtes calcaires dans les environs de Tunis. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 211-212.

PINTA (M.) - 1962.- Recherche et dosage des éléments traces. Spectrophotométrie d'absorption, spectrographie d'émission, polarographie. Dunod, Paris, XXX-736 p., fig., 1 pl. h.t. dépl., tabl., bibl.

PINTA (M.) - OLLAT (C.) - 1961.- Recherches physico-chimiques des éléments-traces dans les sols tropicaux. I Etude de quelques sols du Dahomey. Geochim. cosmochim. Acta, vol.25, pp. 14-23.

PIRARD (F.) - 1964.- Géomorphologie du Manga nigérien. Schéma d'évolution quaternaire du secteur nord-occidental de la cuvette du Tchad. Bull. ASEQUA n°4, pp. 3-7.

PITOT (A.) - 1954.- Végétations et sols et leurs problèmes en A.O.F. Ann. Ec. sup. Sci. Dakar, T 1, pp. 129-139.

POCHARD (P.) - Contribution à l'étude des eaux souterraines, des sels et natrons de la région du Tchad. s.l.n.d., 27 p. multigr.

PONOMAREVA (V.V.) - 1947.- "The determination and chemical nature of fulvic acid". Pochvovedenie, pp. 714-723.

PONS (A.) - QUEZEL (P.) - 1956.- Premiers résultats de l'analyse palynologique de quelques paléosols sahariens. C.R. Acad. Sci., Paris, T 243, pp. 1656-1658.

PONS (A.) - QUEZEL (P.) - 1957.- Première étude palynologique de quelques paléosols sahariens. Trav. Inst. Rech. sahar., T XVI, pp. 15-40, 1 pl. h.t.

PONS (A.) - QUEZEL (P.) - 1958.- a. Premières remarques sur l'étude palynologique d'un guano fossile du Hoggar. C.R. Acad. Sci., Paris, T 246, pp. 2290-2292.

b. A propos de l'étude palynologique de quelques sédiments sahariens récents. Bull. Liaison sahar., t 9, n°29, pp. 77-80.

PRIEM (F.) - 1912.- Sur des poissons fossiles et en particulier des siluridés tertiaires supérieurs et des couches récentes de l'Afrique (Egypte et région du Tchad). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 186-187.

PROST (A.) - 1961.- Nouvelles données sur le marno-calcaire et sur l'origine de la meuliérisation de cette formation. C.R. Acad. Sci., Paris, T 253, pp. 1977-1979.

PRUVOST (P.) - 1930.- Sédimentation et subsidence. Livre jubilaire. Soc. Géol. Fr., t.2, pp. 545-564.

PRUVOST (P.) - GLANGEAUD (L.) - ROUTHIER (P.) - 1960.- L'écorce terrestre. Introduction à la géologie. Soc. Nouv.Encycl. Fr.et Librairie Larousse, Paris, 134 p., 63 fig., 8 cart. h.t.

PRUVOST (P.) - ROCH (E.) - SATO (T.) - 1961.- Le concept du cycle sédimentaire : retouches et compléments. C.R. Acad. Sci., Paris, T 253, pp. 1742-1744.

PULLAN (R.A.) - 1965.- The recent geomorphological evolution of the south central part of the Chad basin. Samaru res. Bull. n°58, pp. 115-139.

QUEZEL (P.) - 1958.- Mission botanique au Tibesti. Inst. Rech. sahar. Mém. n°4. Alger, 357 p.

QUEZEL (P.) - 1960.- Flore et palynologie sahariennes. Quelques aspects de leur signification biogéographique et paléoclimatique. Bull. I.F.A.N., sér.A, t. XXII, n°2, pp. 353-360.

QUEZEL (P.) - 1965.- La végétation du Sahara. Du Tchad à la Mauritanie. G. Fischer Verl., Stuttgart; Masson et Cie, Paris, 333 p.

QUEZEL (P.) - MARTINEZ (C.) - 1958.- Etude palynologique de 2 diatomites du Borkou (Territoire du Tchad - A.E.F.). Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N. T.49, pp. 230-244.

QUEZEL (P.) - MARTINEZ (C.) - 1958-1959.- Le dernier interpluvial au Sahara central. Essai de chronologie palynologique et paléo-climatique. Libyca, T. VI-VII, pp. 211-227.

QUEZEL (P.) - MARTINEZ (C.) - 1962.- Premiers résultats de l'analyse palynologique de sédiments recueillis au Sahara méridional à l'occasion de la mission Berliet-Tchad. In Mission Berliet-Ténéré-Tchad. Arts et Métiers graphiques, Paris, pp. 313-327, 4 pl. h.t.

RAEBURN (C.) - JONES (B.) - 1934.- The Chad Basin : geology and water supply. Geol. Surv. Nigeria, Bull. 15, 61 p., 1 carte géol. 1/3.000.000e.

RAYNAL (R.) - 1955.- Oscillations climatiques et évolution du relief au cours du Quaternaire. Notes maroc., n°5, pp. 10-14, 2 fig., 1 pl., 8 photogr.

RAYNAL (R.) - 1961.- Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental). Etude géomorphologique, Rabat, Imframar., 617 p.

RAYNAL (R.) - DRESCH (J.) - JOLY (F.) - 1953.- Deux exemples régionaux de glaciation quaternaire au Maroc : Haut Atlas oriental et Moyen Atlas septentrional. INQUA. Congr. int. quaternaire. IV. 1953. Rome-Pise, vol.I, pp. 108-117.

RAYNAL (R.) - TRICART (J.) - 1964.- Comparaisons des grandes étapes morphogénétiques du Quaternaire dans le Midi méditerranéen français et au Maroc. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), V, pp. 587-596.

RECEVEUR (M.) - 1949.- Notes sur : 1° Les feux de brousse en fonction de l'élevage. 2° Rotation, amélioration des pâturages et transhumance saisonnière au Tchad. Conf. afr. Sols. 1948. Goma. Bull. agric. Congo belge. vol. XL, n°2, pp. 1950-1964.

REFORMATSKY (N.) - 1935.- Quelques notes sur les latérites et les roches ferrugineuses de l'Ouest de la colonie du Niger français. Bull. Soc. géol. Fr., (5), V, pp. 575-589.

REIFENBERG (A.) - 1935.- Soil formation in the Mediterannean. Congr. Int. Sci. Sol. 3. 1935. Oxford, I, pp. 306-310.

RENARD (M.) - 1949.- a. Les feux de brousse du Soudan. Conf. afr. Sols. 1948. Goma. Bull. Agric. Congo belge, vol. XL, n°2, pp. 1919-1932.
b. La régénération des terres épurées du Soudan français. Conf. afr. Sols. 1948, Goma. Bull. Agric. Congo belge, vol. XL, n°3, pp. 2173-2188.

REYGASSE (M.) - 1935.- Le Ténérien. Observations sur un faciès nouveau du Néolithique des confins algéro-soudanais. Congr. préhist. Fr., XIe, Périgueux, 1934, pp. 577-584, carte, 3 pl.

RIECKEN (F.F.) - 1943.- Some considerations in the magnesium cycle of weathering in solonetz soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 8, pp. 391-395.

RIQUIER (J.) - 1966.- La matière organique dans les sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. IV, n°4, pp. 33-37.

RISNAK (G.A.) - 1960.- Some observations of recent oolites. J. sedim. Petrol., vol.30, n°3, pp. 471-480.

RIVIERE (A.) - 1937.- a. La constitution granulométrique des sédiments sableux et les grandes lignes de leur évolution dans les différents milieux géologiques. C.R. Acad. Sci., Paris, T 204, pp. 703-705.
b. Contribution à l'étude géologique des sédiments sableux. Ann. Inst. Océanogr., T XVII, pp. 213-240.

RIVIERE (A.) - 1952.- Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. Bull. Soc. géol. Fr., 6 sér., T.II, pp. 155-167.

RIVIERE (A.) - 1954.- Généralisation de la méthode des faciès granulométriques. Evaluation de la dispersion aléatoire. C.R. Acad. Sci., Paris, T 238, pp. 2326-2328.

RIVIERE (A.) - 1953.- Méthodes d'interprétation de la granulométrie des sédiments meubles. Rev. Inst. Fr. Pétr., vol. VII, n° sp., pp. 102-107.

RIVIERE (A.) - 1955.- Sur le problème de l'eustatisme. C.R. Acad. Sci., Paris, T 240, pp. 895-896.

RIVIERE (A.) - 1960.- Généralisation de la méthode des faciès granulométriques par extension de la notion d'indice d'évolution. Détermination de celui-ci. C.R. Acad. Sci., Paris, T 250, pp. 2917-2919.

ROCH (E.) - 1950.- La genèse de certains sables rouges en A.E.F. C.R. Acad. Sci., Paris, T 230, pp. 670-671.

ROCH (E.) - 1952.- Les reliefs résiduels, ou inselberge, du bassin de la Bénoué (Nord-Cameroun). C.R. Acad. Sci., Paris, T 234, pp. 117-119.

ROCH (E.) - 1953.- Itinéraires géologiques dans le nord du Cameroun et le sud-ouest du Territoire du Tchad. Bull. Serv. Mines, Cameroun, n°1, 110 p., 12 pl.

ROCH (E.) - 1958.- Les bauxites du Midi de la France, leur origine. Rev. gén. Sci., Paris, T LXV, n°5-6, pp. 151-156.

ROCH (E.) - NICKLES (M.) - 1952.- Esquisse géologique de la cuvette tchadienne et du bassin français de la Bénoué. ORSTOM - CSLT, Paris, 20 p. multigr., carte 1/2.500.000

ROCHE (M.) - 1958.- Etudes d'écoulement en régime désertique. Massif de l'Ennedi. Campagne 1958. ORSTOM - CSLT, Fort-Lamy, 80 p. multigr., 5 ann., tabl.

ROCHE (M.) - 1960.- Etudes d'écoulement en régime désertique. Plaine du Mortcha et massif de l'Ennedi. Campagne 1959. ORSTOM - OCRS, Fort-Lamy-Paris, 80 p. multigr., 5 ann., tabl., graph., carte 1/200.000, 5 pl. photogr.

ROCHETTE (M.) - 1961.- a. Etude hydrologique de la zone Satégui-Deressia. Campagne 1960. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 12 p. multigr., graph., carte.

b. Etude de la rive gauche du Logone. Casier rizicole de Kartoa. Casier rizicole de Djafga. Guerleou inférieur. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 13 p. multigr., graph., carte 1/20.000.

c. Aménagement des chutes Gauthiot. Campagne 1960. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 21 p.

RODD (F.) - FALCONER (J.D.) - STEBBING (E.P.) - 1938.- The Sahara. Geogr. J., vol. XCI, pp. 354-359.

RODIER (J.) - 1962.- Résultats des études entreprises sur les phénomènes d'écoulement dans la dépression du Bahr el Ghazal. C.C.T.A.-C.S.A. Réunion sur l'aménagement régional du bassin du Tchad et Réunion des hydrologues des pays riverains du Tchad. 1962. Fort-Lamy. 9 p. multigr., 2 graph.

ROGNON (P.) - 1960.- L'évolution de la Vallée du Nil d'après les études récentes. Trav. Inst. Rech. sahar., T XIX, pp. 151-156.

ROGNON (P.) - 1961.- Modification de l'altération argileuse depuis la fin du Tertiaire dans le massif volcanique de l'Atakor (Hoggar). C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 186-188.

ROGNON (P.) - 1962.- Observations nouvelles sur le Quaternaire du Hoggar. Trav. Inst. Rech. sahar., T XXI, pp. 57-80, 2 fig., 4 photos.

ROLLEY - LHUILLIER - BETREMIEUX - BRENON.- 1946.- Rapport sur les possibilités de développement économique du bassin du Logone. Paris, 2 t. non pag., multigr., tabl., graph. dépl. h.t.

ROMO (L.A.) - ROY (R.) - 1955.- Essais de synthèse des minéraux argileux dits "à couches mixtes". Bull. Soc. fr. Miner. Crist., T 78, pp. 433-448.

ROSFELDER (A.) - 1956.- Sur les facteurs de répartition des sédiments sur le plateau continental algérien.C.R. Acad. Sci., Paris, T 242, pp. 1196-1199.

ROSFELDER (A.) - 1961.- Contributions à l'analyse texturale des sédiments. Thèse. Publ. Serv. Carte géol. Algérie (n.s.) Bull. n°29, 310 p.

ROSSIN (M.) - 1946.- Rapport de mission au Soudan anglo-égyptien. Imp. Nat., Paris, 108 p.

ROUGERIE (G.) - 1959.-Latéritisation et pédogenèses intertropicales. Inform. Géogr. n°5, pp. 199-205.

SANDFORD (K.S.) - 1935.- Geological observations on the north-west frontiers of the anglo-egyptian Sudan and the adjoining part of the southern libyan desert. Quart. J. Geol. Soc. Lond.,vol. XCI, pp. 323-381, 7 pl.

SANDFORD (K.S.) - 1937.- Observations on the geology of northern-central Africa. Quart. J. Geol. Soc. Lond., vol. XCIII, pp. 534-580, 2 pl.

SANTA (S.) - 1958-1959.- Essai de reconstitution de paysages végétaux quaternaires d'Afrique du Nord. Libyca, T VI-VII, pp. 37-77.

SCAETTA (H.) - KILLIAN (Ch.) - 1941.- Observations pédologiques et biologiques sur la latérite fossile, les sols latéritiques et les sols alluviaux de Gao-Bilakalo (Niger). Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 32, n°7, pp. 225-241.

SCHEFFER (F.) - MEYER (B.) - NIEDERBUDDE (E.A.) - 1959.- Huminstoffbildung unter Katalyischer Einwirkung natürlich vorkommender Eisenverbindungen im Modellversuch. Z. Pfl. Ernähr. Dung. Bodenk. 87, pp. 26-44.

SCHIFFERS (H.) - 1957.- Die innersaharische Landschaft Borku und ihre Bewohner. Beobachtungen Während einer Reise im Frühjahr 1955. Die Erde, 88, heft 2, pp. 81-109.

SCHNEIDER (J.L.) - 1967.- Evolution du dernier lacustre et peuplements préhistoriques aux Pays Bas du Tchad. Bull. ASEQUA, n°14-15, pp. 18-23.

SCHNITZER (M.) - SHEARER (D.A.) - WRIGHT (J.R.) - 1959.- A study in infra-red of high-molecular weight organic matter extracted by various reagents from a podzolic B horizon. Soil Sci., vol. 87, pp. 252-257.

SCHOELLER (H.) - 1942.- La question de l'eau fossile au Sahara. C.R. somm. soc. géol. Fr., n°10, pp. 81-83.

SCHOELLER (H.) - 1959.- Hydrologie des régions arides. Progrès récents. Rech. Zone aride. XII. UNESCO, Paris, 126 p., 26 fig.

SCHUYLENBORGH (J.V.) - ARENS (P.L.) - 1950-1951.- The electrokinetic behaviour of freshly prepared γ - and α FeOOH. Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas, 69, pp. 1757-1765.

SEGALEN (P.) - 1957.- Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar. Mém. I.R.S.M., D, VIII, 182 p.

SEGALEN (P.) - 1958.- Les sols du Cameroun. In Atlas du Cameroun. I.R.CAM, Yaoundé, 6 p., carte 1/2.000.000.

SEGALEN (P.) - 1962.- Notice sur la carte pédologique au 1/100.000 de Maroua. I.R.CAM, Yaoundé, 67 p. multigr., cart.

SEGALEN (P.) - 1964.- a. Le fer dans les sols. Init. Doc. Tech. ORSTOM - n°4. Paris, 150 p.

b. Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. 1ère partie : les produits alumineux. 2ème partie : les sols de la zone intertropicale humide et la genèse des produits alumineux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. III, pp. 149-176, pp. 179-205.

SEGALEN (P.) - 1966.- a. Altération des minéraux primaires, synthèse des minéraux secondaires au cours de la ferrallitisation. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. IV, n°4, pp. 5-13.

b. Le processus de ferrallitisation et ses limites Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. IV, n°4, pp. 15-20..

SEGALEN (P.) - MARTIN (D.) - 1958.- Etude pédologique de la plaine du Logone au 1/10.000. I. Secteur Yagoua-Kartoa. I.R.CAM, Yaoundé, 39 p. multigr., cart.

SEGALEN (P.) - VALLERIE (M.) - 1963.- Notice sur la carte pédologique au 1/100.000 de Mokolo. I.R.CAM, Yaoundé, 72 p. multigr., cart.

SEN (B.C.) - 1961.- Studies on the adsorption of humic acids on H-clays and the role of metal cations in humus adsorption. J. Indian Chem. Soc., vol. 37, pp. 793-797.

SERVANT (M.) - 1967.- Nouvelles données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad. 6è Congr. Panafr. Préh. Et. Quat. 20 p. multigr.

SIEFFERMANN (G.) - 1959.- Premières déterminations des minéraux argileux des sols du Cameroun. Conf. Interafr. Sols. 3. 1959. Dalaba, vol.I, pp. 139-150.

SIEFFERMANN (G.) - 1968.- Variations climatiques au Quaternaire dans le sud-ouest de la cuvette tchadienne. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.

SIEFFERMANN (G.) - MARTIN (D.) - 1959.- Etude pédologique de la plaine du Logone au 1/10.000. 2. Secteur Kartoa-Mérigué. I.R.CAM, Yaoundé, 35 p. multigr., cart. au 1/10.000e.

SIEFFERMANN (G.) - MARTIN (D.) - 1963.- Carte pédologique du Nord Cameroun.au 1/100.000. Feuille Mousgoy. I.R.CAM, Yaoundé, 102 p. multigr.

SIESKIND (O.) - WEY (R.) - 1958.- Sur l'adsorption d'amines aliphatiques par la montmorillonite. Bull. Gr. Fr. argile, 10, pp. 9-14.

SIMAIKAY (M.) - SHERBINI (H.A.) - 1958.- Some aspects of erosion in Egypt. AIHS. Assemblée générale. 1957. Toronto, Tome I, pp. 381-386.

SMITH (H.T.U.) - 1952.- Classification of sand dunes. Congr. géol. int. 19. 1952. Alger. Section VII, Déserts actuels et anciens, fasc.VII, p. 105.

SONET (J.) - 1958.- Témoins gréseux paléozoïques dans le massif du Ouaddai au sud de l'Ennedi (NE Tchad). Réun. Ass. Serv. Géol. afr., Lépoldville, juillet 1958, 9 p. multigr., carte.

SONET (J.) - 1963.- Notice explicative sur la feuille Niéré. Rép. Tchad. Carte géol. reconn. éch. 1/500.000. Impr. Centrale d'Afrique, Brazzaville, 80 p. carte.

SOULA (L.) - 1950.- Sels du Manga (Niger). La thénardite de Maïné-Soroa. In Mission Anthropologique de l'A.O.F. (5) Les sels alimentaires. Direct. gén. Santé publ., Dakar, 107 p.

SPARKS (B.W.) - GROVE (A.T.) - 1963.- Fossil non-marine mollusca from Mongonu, North-East Nigeria. Overseas Geol. Miner. Resources. vol.9, n°2, pp. 190-195.

STEPHEN (I.) - 1963.- Bauxitic weathering at Mount Zomba (Nyasaland). Clay Min. Bull., vol.5, n°29, pp. 203-208.

STEVENS (R.E.) - CARRON (M.K.) - 1948.- Simple field test for distinguishing minerals by abrasion pH. Amer. Miner. vol.33, n^{os} 1-2, pp. 31-49, 2 fig.

STRAKHOV (N.M.) - 1957.- Méthodes d'étude des roches sédimentaires. Trad. Ann. Serv. inform. géol. du Bur. Rech. géol. Géophys. min. 2 vol. 542 + 535 p. + fig., pl.

SUESS (H.E.) - 1954.- U.S. geological survey Radiocarbon dates. Science, vol. 120, n°3117, pp. 467-473.

SYS (C.) - 1959.- Signification des revêtements argileux dans certains sols de l'Ituri (Congo belge). Conf. interafr. Sols. 3. 1959. Dalaba, vol.1, pp. 169-176.

SYS (C.) et al - 1961.- La cartographie des sols au Congo. Ses principes et ses méthodes. Publ. I.N.E.A.C. sér. tech. n°66. Bruxelles, 149 p.

TAIT (E.A.) - CARTER (J.D.) - BARBER (W.) - JONES (G.P.) - 1960.- The stratigraphy and structure of a part of north-eastern Nigeria. C.C.T.A.-C.S.A., Publ. n°55. Londres, pp. 13-14 (résum. fr.).

TATTAM (C.M.) - 1943.- A review of nigerian stratigraphy. Notes of geological map of Nigeria 2.000.000e, and distribution of minerals and groundwater. Geol. surv. Nigeria, Ann. Report 1943. pp. 27-46, carte 1/2.000.000e.

TERMIER (H.) - TERMIER (G.) - 1952.- Histoire géologique de la biosphère. Masson, Paris, 723 p. (35 cart. paléo-géogr.).

TERMIER (H.) - TERMIER (G.) - 1953.- Le point de vue du stratigraphe sur les phénomènes superficiels en régions arides. In Actions éoliennes. Phénomènes d'évaporation et d'hydrologie superficielle dans les régions arides. Alger 1951. Coll. int. CNRS, XXXV, pp. 288-299.

TERMIER (H.) - TERMIER (G.) - 1954.- Formation des continents et progression de la Vie. Masson, Paris, 136 p., 4 fig., 20 pl. h.t., 5 cart.

TERMIER (H.) - TERMIER (G.) - 1956.- L'évolution de la lithosphère. I. Pétrogenèse. Masson, Paris, 655 p.

TERMIER (H.) - TERMIER (G.) - 1958.- Les grandes phases arides des temps géologiques. Leur place dans l'histoire de la terre et leurs répercussions sur l'histoire de la vie : exemple du Permien. Rev. gén. Sci. pur. appl., T LXV, n°3-4, pp. 83-91.

TERMIER (H.) - TERMIER (G.) - 1960.- Erosion et sédimentation. Introduction à la géologie générale et à la paléogéographie, Masson, Paris, 412 p.

THATCHER (L.) - RUBIN (M.) - BROWN (G.F.) - 1961.- Dating desert ground water. Science, T 134, n°3472, pp. 105-106.

THOMANN (Ch.) 1963.- Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols; méthode au pyrophosphate de sodium. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., n°3, pp. 43-72.

THOMANN (Ch.) - 1964.- Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest africain. ORSTOM, Dakar-Hann, 52 p. multigr., graph.

TILHO (J.) - 1906.- Exploration du lac Tchad (février-mai 1904). Géographie, XIII, pp. 195-214.

TILHO (J.) - 1910-1914.- Documents scientifiques de la mission Tilho (1906-1909). Paris, Impr. Nat., 3 vol. 412 + 631 + 485 p.

TILHO (J.) - 1916-1917.- Exploration du Commandant Tilho en Afrique Centrale : Borkou, Ennedi, Tibesti, Darfour. 1912-1917. Bull. Soc. géogr. n°31, pp. 401-417.

TILHO (J.) - 1919.- Une mission scientifique de l'Institut de France en Afrique centrale (Tibesti, Borkou, Ennedi). C.R. Acad. Sci., Paris, T 168, pp. 984-988.

TILHO (J.) - 1925.- Sur l'aire probable d'extension maxima de la mer paléotchadienne. C.R. Acad. Sci., Paris, T 181, pp. 643-646.

TILHO (J.) - 1928.- Variations et disparition possible du Tchad. Ann. Géogr. Fr., T XXXVII, pp. 238-260.

TILHO (J.) - 1934.- a. Sur deux croquis concernant la capture éventuelle du Logone et ses conséquences pour le bassin du Tchad. C.R. Acad. Sci., Paris, T 199, pp. 895-900.

b. Sur l'éventualité de la capture du Logone affluent du lac Tchad par le Niger. C.R. Acad. Sci., Paris, T 199, pp. 752-755.

c. A travers le Ténéré. Le problème de l'Oued Tafassasset. Bull. com. Afr. fr., 44, n°3, pp. 157-159.

TILHO (J.) - 1936.- a. Le Logone quittera-t-il le Bassin du Tchad? Rev. gén. Sci., Paris, 15 déc. 1935.

b. Sur l'état de la zone de capture du Logone par la Bénoué. C.R. Acad. Sci., Paris, T 202, pp. 2109-2113.

TILHO (J.) - 1937.- a. La capture du Logone par la Bénoué. Bull. Assoc. géogr. fr. Paris, n°104, pp. 49-53.

b. A propos du lac Tchad. Bull. com. Afr. fr. n°5, pp. 265-271.

TILHO (J.) - 1947.- Le Tchad et la capture du Logone par le Niger. Gauthier-Villars, Paris, 202 p., 15 pl., carte.

TILHO (J.) - ARAMBOURG (C.) - 1938.- Sur la découverte par Stéphane Desombre d'un éléphant fossile au centre du Sahara. C.R. Acad. Sci., Paris, T 206, pp. 1775-1779.

TIXIER (J.) - BESLON (M.) - 1961.- Etude du ruissellement en régime sahélien. Bassin expérimental d'Abou Goulem-Ouaddaï. Campagnes 1958-1959. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, 66 p. multigr., graph., tabl.

TIXIER (J.) - BESLON (M.) - THIEBAUX (J.) - BOUCHARDEAU (A.) - 1960.- Hydrologie des régions d'élevage : Batha-Guéra-Ouaddaï. Données de base pour l'aménagement de points d'eau en surface ou à faible profondeur. Campagne 1959 - 1ère partie. ORSTOM - CRT, Fort-Lamy, Serv. hydrol., multigr.

TOMLINSON (P.R.) - 1964.- Classification des sols de Nigéria du Nord selon la terminologie de la légende de la carte des sols d'Afrique. 4ème approximation. Sols afr., IX, pp. 85-96.

TONGIORGI (E.) - TREVISAN (L.) - 1942.- Un falso postulato di paleoclimatologia del Quaternario : la corrispondenza tra periodi glaciali e periodi pluviali. Alli della Soc. Toscana di Sci.Nat., Processi verbali, vol. LI, n°5, pp. 53-68, 7 fig.

TORJMAN (G.) - 1962.- a. L'hydrologie dans la mise en valeur des cuvettes lacustres du lac Tchad. CCTA-CSA. Réunion d'aménag. régional du bassin du Tchad. Réunion des hydrologues des pays riverains du Tchad, 1962. Fort-Lamy, 3 p. multigr.

b. Projet de mise en valeur des cuvettes lacustres du lac Tchad. CCTA-CSA. Réunion d'aménag. régional du bassin du Tchad. Réunion des hydrologues des pays riverains du Tchad, 1962, Fort-Lamy, 5 p. multigr.

TOUCHEBEUF de LUSSIGNY (P.) - 1961.- Etude des transports solides en Afrique noire et à Madagascar. CCTA-CSA. Conf. interafr. Hydrol. 1961. Nairobi. CCTA Publ. n°66, pp. 247-255.

TRICART (J.) - 1954.- a. Une forme de relief climatique : les sebkhas. Rev. Géomorph. dyn., pp. 97-101.

b. Influence des sols salés sur la déflation éolienne en basse Mauritanie et dans le delta du Sénégal. Rev. Géomorph. dyn. pp. 124-132.

TRICART (J.) - 1956.- Tentative de corrélation des périodes pluviales africaines et des périodes glaciaires. C.R. somm. Soc. géol. Fr., pp. 164-167.

TRICART (J.) - 1958.- a. Méthode amélioré pour l'étude des sables mise au point aux laboratoires de l'Institut de Géographie de l'Université de Strasbourg. Rev. Géomorph., n°3-4, pp. 43-54.

b. Données pour l'utilisation paléogéographique des cailloutis. Congr. Int. Sédiment. 5. 1958. Genève-Lausanne. Eclogae geol. Helv. vol.51, n°3 - pp. 784-795.

TRICART (J.) - 1961.- Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal. Mém. BRGM n°8, 118 p., 9 pl., 3 cart. 1/100.000.

TRICART (J.) - 1963.- Oscillations et modifications de caractères de la zone aride en Afrique et en Amérique latine lors des périodes glaciaires des hautes latitudes. Rome, Symposium UNESCO Proc., vol. XX, pp. 415-419.

TRICART (J.) - 1965.- Rapport de la mission de reconnaissance géomorphologique de la vallée moyenne du Niger. Mém. IFAN n°72, Dakar, 196 p.

TRICART (J.) - BROCHU (M.) - 1955.- Le grand erg ancien du Trarza et du Cayor. Rev. Géomorph. dyn., pp. 145-176.

TRICART (J.) - CAILLEUX (A.) - 1960.- Le modelé des régions sèches. Centre Doc. Univ., Paris, fasc.1 : 129 p., 21 fig., fasc.2 : 179 p., 41 fig.

TRICART (J.) - MICHEL (P.) - VOGT (J.) - 1957.- Oscillations climatiques quaternaires en Afrique occidentale. INQUA. Congr. int. V. 1957. Madrid-Barcelona. Rés. Comm., pp. 187-188.

TROCHAIN (J.) - 1940.- Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Mém. IFAN n°2. Larose, Paris, 433 p.

TROCHAIN (J.) - 1957.- Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. Bull. Inst. Etud. Centrafr., nouv. sér., n°13-14, pp. 55-93.

TRUOG (E.) - 1930.- The determination of readily available phosphorus. Journ. Am. Soc. Agr., 22, pp. 874-882.

TUREKIAN (K.K.) - WEDEPOHL (K.H.) - 1961.- Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. Amer., Bull., vol. 72, n°2, pp. 175-191.

TURNER (E.R.) - 1955.- The reaction between bentonite and certain naturally-occuring compounds. J. Soil Sci. 6, pp. 319-326.

TYURIN (I.V.) - KONONOVA (M.M.) - 1963.- Biology of humus and problems in soil fertility. Soviet soil Sci., pp. 205-213.

URVOY (Y.) - 1933.- Les formes dunaires à l'ouest du Tchad. Ann. Géogr., T XLII, pp. 506-515.

URVOY (Y.) - 1935.- Terrasses et changements de climat quaternaires à l'est du Niger. Ann. Géogr., T XLIV, pp. 254-263.

URVOY (Y.) - 1936.- Structure et modelé du Soudan français (Colonie du Niger). Ann. Géogr., T XLV, pp. 19-49.

URVOY (Y.) - 1942.- Les bassins du Niger. Etude de géographie physique et paléogéographie. Mém. IFAN n°4. Larose, Paris, 139 p., 36 fig., 11 pl., 4 cartes h.t.

U.S. SALINITY LABORATORY STAFF.- 1954.- Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. L.A. Richards, Ed. U.S.D.A. Agricultural Handbook, n°60. Washington, 160 p.

VAILLANT (A.) - 1945.- La flore méridionale du lac Tchad. Bull. Soc. Et. Cam., Douala, n°9, pp. 13-98.

VAILLANT (A.) - 1956.- Contribution à l'étude agricole des sols du Diamaré (Nord Cameroun). Agron. trop. XI, pp. 448-477.

VAN CAMPO (M.) - 1957.- Palynologie africaine. Bull. IFAN, XIX, sér.A, pp. 659-726, 8 fig., 24 pl.

VERLAQUE (Ch.) - 1958.- Les dunes d'In Salah. Etude morphologique. Trav. Inst. Rech. Sahar., T XVII, pp. 13-57, 11 fig., 3 pl. h.t.

VIGUIER (Cl.) - 1962.- Recherches sur la possibilité d'infiltration des eaux de pluie à travers les dunes du grand Erg occidental à Béni Abbès (Saoura). Trav. Lab. Hydrogéologie-Géochimie Fac. Sci. Univ. Bordeaux, t IX, 51 p., 4 tabl., 18 pl.

VILLAR (E.H. del) - 1950.- Contribution al estudio comparado de las "tierras negras" de Andalucia y de Marruecos. An. Edafol. Fisiol. Veg. 9, pp. 251-278., S. and F., 1952, n°127.

VINCENT (P.M.) - 1955.- Rapport de fin de mission 1953-1954. Feuille Am Dam ouest. Rapport multigraphié. Serv. Mines Brazzaville.

VINCENT (P.M.) - 1963.- Les volcans tertiaires et quaternaires du Tibesti occidental et central (Sahara du Tchad). Thèse. Mém. B.R.G.M. n°23, 307 p., 70 fig., 26 tabl., 73 photog., 10 microphot.

VOUTE (C.) - 1962.- Geological and morphological evolution of the Niger and Benue valleys. Congr. Panafr. Préhist. Et. Quaternaire. 4. 1959. Lépoldville. Mus. r. Afr. centr., Ann. in 8°. Sci. hum., Belg., n°40, pp. 189-207, 3 fig., 1 carte dépl. h.t.

WACRENIER (Ph.) - 1953.- Rapport de fin de mission 1953, feuilles Laï-Garoua de la carte géologique. I.R.G.M. Brazzaville.

WACRENIER (Ph.) - 1961.- Mission de recherche de bauxite au Logone et au Mayo-Kébi (Tchad). Bull. Inst. Equat. Rech. Et. Géol. Min., n°14, pp. 37-41.

WAEGEMANS (G.) - 1951.- Latérites et bauxites. Bull. agric. Congo belge, XLII, pp. 567-574.

WAEGEMANS (G.) - 1954.- Les latérites de Gimbi (Bas-Congo). Publ. Inst. nation. Etud. agron. Congo belge, sér. sci., n°60. Bruxelles, 27 p.

WALKLEY (A.) - BLACK (A.) - 1934.- An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci., 37, pp. 29-38.

WAUTHIER (M.) - 1934.- Connaissance des sables. Du Hoggar au Tchad à travers le Ténéré. Plon, Paris, 250 p., 14 pl.

WERNER (R.G.) - 1960.- Diatomées marines vivant en eau douce continentale. C.R. Acad. Sci., Paris, T 251, pp. 413-415.

WHITTIG (L.D.) - 1959.- Characteristics and genesis of a solodized-solonetz of California. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., vol.23, pp. 469-473.

WILLIAMS (M.A.J.) - 1966.- Age of alluvial clays in the Western Gezira, Republic of the Sudan. Nature, vol.211, n°5046, pp. 270-271.

WOLFENDEN (E.B.) - 1961.- Bauxite in Sarawak. Econ. Geol., 5, pp. 972-981.

WOLLAST (R.) - 1961.- Aspect chimique du mode de formation des bauxites dans le bas Congo. Acad. r. Sci. O.M. Belg. Bull. Séanc. VII, pp.468-489.

A N N E X E S

I SEDIMENTOLOGIE

II PEDOLOGIE

III METHODES ANALYTIQUES

A N N E X E I

S E D I M E N T O L O G I E

SERIE SABLEUSE RECENTE

TABLEAU 20

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	T 391	0-20	0,79	0,83	0,04	0,245	10 YR 5,5/1
	392	65-85	0,81	0,90	0,09	0,245	10 YR 5,5/2
Bélé près d'Eré (Fianga)	393	180-200	0,79	0,80	0,01	0,365	10 YR 6/2 marbrures rouilles et brunes et pointe blanes feldspathiques
	394	320-340	0,95	1,00	0,05	0,560	10 YR 6/5 marbrures rouilles plus foncées et pointe blanes feldspathiques
	T 41	0-20	0,67	0,68	0,01	0,275	10 YR 6,5/1
Koubo Abou Gara S.E. d'Am Timan (Djouna)	43	70-90	0,70	0,70	-	0,252	10 YR 6,4 et tâches rouilles
	45	200-220	0,70	0,71	0,01	0,375	7,5 YR 6/6 à tâches grises
	47	290-310	0,74	0,84	0,10	0,435	7,5 YR 7/0
Près de Bongor (Bongor)	461	0-20	0,79	0,85	0,06	0,245	10 YR 5,5/2
	463	140-160	0,87	0,91	0,04	0,455	10 YR 7/4

TABLEAU 21

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU	Feld %
	T 391	0-20	24	72	3	-	-	1	0,164	12
Bilé près d'Eré (Fianga)	392	65-85	22	76	-	-	-	2	0,168	5
	393	180-200	34	66	-	-	-	-	0,132	18
	394	320-340	27	70	2	-	-	1	0,156	18
	41	0-20	15	65	-	-	8	12	0,290	1
Koubo Abou Gara S.E. d'Am Timan (Djouna)	43	70-90	15	57	4	-	8	16	0,320	4
	45	200-220	18	51	-	-	15	16	0,350	2
	47	290-310	15	71	3	-	-	11	0,242	8
Près de Bongor (Bongor)	461	0-20	25	74	-	-	1	-	0,156	17
	462	140-160	14	79	5	-	2	-	0,194	15

TABLEAU 26

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	MO						
Nord de Bódina (Mongo)	431	0–20	0,65	0,70	0,05	0,237	10 YR 6/3
	432	90–100	0,65	0,70	0,05	0,240	10 YR 5/4
	BO						
Nord d'Alifa (Bokoro)	131	0–20	0,57	0,65	0,08	0,146	2,5 YR 5/2
	133	80–100	0,59	0,64	0,05	0,114	2,5 YR 6/2
	134	200–220	0,49	0,56	0,07	0,106	2,5 YR 6,5/2
	A						
Am-Dalam (Abéché)	561	0–15	0,50	0,56	0,06	0,230	10 YR 5,5/4
	564	120–140	0,45	0,50	0,05	0,245	10 YR 6/3
Entre Biltine et Arada (Biltine)	771	0–20	0,60	0,72	0,12	0,290	10 YR 6/4
	773	100–120	0,70	0,90	0,20	0,270	10 YR 6,5/4
Oum Chalouba vers Fada (Oum Chalouba)	1221	0–20	0,50	0,56	0,06	0,260	10 YR 6/4
	1223	130–150	0,45	0,47	0,02	0,235	10 YR 7/4

TABLEAU 27

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar%	Ov%	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	MO								
Nord de Bódina (Mongo)	431	0–20	38	21	13	–	13	15	0,318
	432	90–100	22	26	22	–	12	18	0,300
	BO								
Nord d'Alifa (Bokoro)	131	0–20	10	36	4	–	22	28	0,388
	133	80–100	2	64	12	–	10	12	0,352
	134	200–220	–	60	4	–	16	20	0,424
	A								
Am-Dalam (Abéché)	561	0–15	6	14	10	–	20	50	0,628
	564	120–140	19	24	11	–	28	18	0,460
Entre Biltine et Arada (Biltine)	771	0–20	65	6	3	–	18	8	0,232
	773	100–120	54	14	6	–	10	16	0,260
Oum Chalouba vers Fada (Oum Chalouba)	1221	0–20	27	10	–	–	16	47	0,524
	1223	130–150	14	8	4	–	14	60	0,624

SERIE LACUSTRE RECENTE

TABLEAU 40

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	T						
Doudei (Djouna)	53	90-100					2,5 Y 6/2
Bakouma (Lac Iro)	71	5-20	fraction sableuse peu				2,5 Y 4/2
Près de Mak (Guéra)	G 332	80-100	importante				10 YR 4,5/1
Fort-Lamy (Fort-Lamy)	512	7-25	0,44	0,65	0,21	0,136	10 YR 4,5/2
	515	180-200	0,70	0,70	-	0,055	10 YR 6/3
El Amadji (Fort-Lamy)	EA 31	0-20	fraction sableuse peu importante				10 YR 4,5/1
	D						
Dabkaraye (Fort-Lamy)	201	0-20	0,58	0,60	0,02	0,100	2,5 Y 5/2
	203	60-80	0,60	0,65	0,05	0,102	2,5 Y 5,5/2
	BO						
Lac Fitri (Bokoro)	831	0-20	fraction sableuse peu importante				2,5 Y 4/0
Près de Yao (Bokoro)	151	0-20	0,65	0,67	0,02	0,158	2,5 Y 3,5/0
	153	80-100	0,62	0,69	0,07	0,180	2,5 Y 4,5/0
	T						
Lac Iro (Lac Iro)	101	0-20	1,18	1,28	0,10	0,280	10 YR 3/1
	103	90-110	0,90	0,92	0,02	0,390	10 YR 4,5/1
	BO						
Lac Fitri (Bokoro)	180	0-5	0,43	0,43	-	0,146	10 YR 3/1
	181	5-20	0,52	0,63	0,11	0,130	10 YR 3/1
	183	80-100	0,40	0,43	0,03	0,132	10 YR 6/2
	191	0-20	0,70	0,70	-	0,109	10 YR 4/1
	193	80-100	0,38	0,40	0,02	0,100	2,5 Y 6/0
							6/2
Idº près de Wagna	841	0-20	0,61	0,65	0,04	0,228	10 YR 4/1 - 3/1
(Bokoro)	843	100-140	0,48	0,48	-	0,198	10 YR 5/1 - 4/1
Dabkaraye (Fort-Lamy)	D 71	0-20	0,52	0,55	0,03	0,120	2,5 Y 4/2
	Mao						
Mao (région de Mao)	22	40-60	Fraction sableuse peu importante				2,5 Y 5,5/2
	152	50-70	1,04	1,04	-	0,148	2,5 Y 5/2
	352	50-70	0,70	0,89	0,19	0,102	2,5 Y 8/0
	L						
Largeau (HET)	1191	0-20					2,5 Y 7,5/2
	1193	160-180					2,5 Y 7,5/2
	1194	180-200					5 Y 8/2
Entre Amoul et Ouaré (HET)	51	0-20	Fraction sableuse peu importante				2,5 Y 5/2
	53	170-190					2,5 Y 8/2
Kirdimi (HET)	112	90-110					2,5 Y 7,5/3
Am Galaka (HET)	151	0-20					2,5 Y 5/2
N'Gour Digré (HET)	203	90-110					2,5 Y 8/2

TABLEAU 41

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar%	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	T								
Doudei (Djouna)	51	0-20	22	54	18	2	4	-	0,224
	53	90-110	20	44	36	-	-	-	0,232
Zakouma (Lac Iro)	71	5-20	20	60	10	2	-	8	0,236
	G								
Près de Mak (Guéra)	332	80-100	50	48	2	-	-	-	0,104
	T								
Fort-Lamy (Fort-Lamy)	512	7-25	18	66	8	4	2	2	0,220
	515	180-200	40	36	24	-	-	-	0,168
	EA								
El Amadji (Fort-Lamy)	31	0-20	16	24	36	-	8	16	0,384
	D								
Dabkaraye (Fort-Lamy)	201	0-20	4	42	32	1	-	21	0,386
	203	60-80	5	47	32	-	2	14	0,350
	Bo								
Près de Yao (Bokoro)	151	0-20	4	38	32	6	-	20	0,400
	153	80-100	12	44	32	4	4	4	0,304
	T								
Lac Iro (Lac Iro)	101	0-20	18	62	12	-		8	0,236
	103	90-110	6	70	10	-		14	0,296
	BO								
Lac Fitri (Bokoro)	180	0-5	2	65	2	-	17	14	0,386
	181	5-20	6	46	38	-	4	6	0,324
	183	80-100	6	62	24	-	2	6	0,284
	191	0-20	8	46	30	4	4	8	0,332
	193	80-100	16	44	28	8	4	-	0,280
idº près de Wagna	841	0-20	-	40	36	6	6	12	0,404
(Bokoro)	843	100-140	-	36	60	-	-	4	0,344
Dabkaraye (Fort-Lamy)	D 71	0-20	4	24	64	-	8	-	0,368
	Mao								
Mao (Région de Mao)	152	50-70	-	4	68	-	16	12	0,504
	352	50-70	-	26	60	-	2	12	0,404

CORDONS SABLEUX

TABLEAU 46

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Het.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
CORDON SUD	T						
Yagoua (Yagoua)	471	0-20	0,43	0,57	0,14	0,130	10 YR 5,5/3
	473	60-80	0,31	0,41	0,10	0,120	7,5 YR 6,5/6
	475	220-240	0,32	0,45	0,13	0,120	10 YR 7/6
	F						
N. de Massénya (Massénya)	291	0-20	0,46	0,47	0,01	0,152	10 YR 4,5/3
	293	100-120	0,52	0,55	0,03	0,160	10 YR 6/4
	295	180-200	0,46	0,47	0,01	0,146	10 YR 7,5/4
	BO						
Arboutchatak (Bokoro)	472	40-60	0,62	0,70	0,08	0,295	7,5 YR 5,5/6
	474	180-200	0,70	0,72	0,02	0,310	7,5 YR 6/8
N. de Géria (Bokoro)	661	0-20	0,55	0,55	-	0,275	10 YR 5,5/4
	663	120-140	0,60	0,60	-	0,330	10 YR 6/6
	Me						
N.E. de Ngama (Melfi)	31	0-20	0,37	0,40	0,03	0,164	10 YR 5/3
	33	110	0,35	0,35	-	0,170	10 YR 5,5/4
CORDON NORD							
	Da						
N.O. de Dabkaraye (Fort-Lamy)	51	0-20	0,36	0,40	0,04	0,122	10 YR 5,5/2
	54	110-130	0,36	0,40	0,04	0,118	10 YR 5,5/3

TABLEAU 47

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov%	Sp_1 %	Sp_2 %	IU	Feld %
CORDON SUD										
	T									
Yagoua (Yagoua)	471	0-20	19	72	-	-	3	6	0,216	2
	473	60-80	7	81	5	-	6	1	0,238	6
	475	220-240	12	80	2	-	4	2	0,216	-
	F									
N. de Massénya (Massénya)	291	0-20	24	58	14	-	2	2	0,204	-
	293	100-120	20	66	12	-	2	-	0,196	-
	295	180-200	6	72	18	-	4	-	0,248	-
	BO									
Arboutchatak (Bokoro)	472	40-60	34	52	6	-	2	6	0,192	-
	474	180-200	30	52	4	-	10	4	0,232	-
Nord de Géria (Bokoro)	661	0-20	27	55	15	-	-	3	0,194	-
	663	120-140	24	50	18	-	4	4	0,236	
	Me									
N E de Ngama (Melfi)	31	0-20	26	70	4	-	-	-	0,156	-
	33	110	17	80	2	-	1	-	0,176	
CORDON NORD										
	Da									
N O de Dabkaraye (Fort-Lamy)	51	0-20	12	50	10	-	14	14	0,364	-
	54	110-130	2	26	10	-	8	54	0,588	

TABLEAU 1

Examen granulométrique et coloration des échantillons

Origine	N°	Het.(1)	Qd phi	écart	Méd.(2)	Coloration
Grès paléozoïques BORKOU-TIBESTI						
19°36 latitude N 15°45 longitude E	725	0,30	0,31	0,01	0,18	10 R 6/3
18°59 latitude N 16°38 longitude E	167	0,27	0,27	-	0,13	7,5 R 4/4
18°28 latitude N 17°21 longitude E	66	0,37	0,42	0,05	0,44	7,5 YR 8/4
OUADDAI						
Adré (Abou Goulem - Adré) (3)	01	1,19	1,19	-	0,11	7,5 R 6/2
	02	0,82	0,82	-	0,47	5 YR 8/4 et 10 YR 8/6 avec striations en ligres 2,5 YR 6/8
Iriba (Iriba)	03	0,25	0,26	0,01	0,225	2,5 Y 8/4
Célafara (Guéréda)	04	0,40	0,43	0,03	0,34	7,5 YR 7,5/8 à taches 10 R 5/6
Grès "Continental Terminal" BORKOU-TIBESTI						
18°27 latitude N 17°04 longitude E	57	0,47	0,91	0,44	1,20	7,5 YR 7/6 à inclusions 7,5 YR 6/0
17°35 latitude N 18°50 longitude E	102	0,58	0,94	0,36	0,64	10 YR 7/1 à veinules 5 YR 7/4
20° latitude N 16°23 longitude E	668	0,57	0,73	0,16	0,28	7,5 YR 8/2
17°43 latitude N 17°01 longitude E	18	0,71	0,80	0,09	0,39	7,5 R 4/1
Formations actuelles (dunes en mouvement).						
18°15 latitude N 18°35 longitude E	1140 1141	0,30 0,30	0,36 0,30	0,05 -	0,168 0,176	2,5 Y 8/3 2,5 Y 8/3

(1) - Het. Hétérométrie
(2) - Méd. Médiane
(3) - Les noms entre parenthèses indiquent la carte I.G.N. 1/200.000° où figure le lieu cité.

TABLEAU 2

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	A % (1)	Sa % (2)	Ar % (3)	OV % (4)	Sp % 1	Sp % 2	IU (5)	Feld % (6)
Grès paléozoïques IORKOU-TIBESTI									
19°36 latitude N 15°45 longitude E	725	20	68	12	-	-		0,184	3
18°59 latitude N 16°38 longitude E	167	90	10	-	-	-		0,020	25
18°28 latitude N 17°21 longitude E	66	50	44	6	-	-		0,112	4
OUADDAI									
Adré (Abou, Coulem - Adré)	01	Quartz anguleux ou subanguleux luisants Indice d'usure faible							
	02 x	36	30	-	-	20	14	0,332	
Iriba (Iriba)	03	-	80	-	-	-	20	0,320	
Celafara (Guéréda)	04 xx	20	36	36	-	-	8	0,280	
Grès "Continental Terminal" BORKOU-TIBESTI									
18°27 latitude N 17°04 longitude E	57	66	20	14	-	-	-	0,096	2
17°35 latitude N 18°50 longitude E	102	52	-	-	-	44		0,384	2
20° latitude N	668	34	56	10	-	-		0,152	15 à 20
17°43 latitude N 17°01 longitude E	18 xxx	-	44	-	-	56		0,536	30
Formations actuelles (dunes en mouvement).									
18°15 latitude N	1140	1	10°	-	-	38	51	0,732	-
18°35 longitude E	1141	-	22°	-	-	40	37	0,660	-

° plus ou moins émoussés
sp 1 sphériques luisants ou picotés repris par l'eau
sp 2 sphériques mats
x fraction 0,8 mm — Indice d'usure 0,624 pour (56 % de sp 1
xx fraction 1,2 mm — " " 0,340 (22 % sp 2
xxx fraction 1 à 1,1 mm — " " 0,656

(1) A. : anguleux
(2) Sa : subanguleux
(3) Ar : arrondis
(4) OV. : ovoïdes
(5) IU : Indice d'Usure
(6) Feld: Feldspaths

TABLEAU 3

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole : Trémolite	Amphibole : Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperasthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements (1) : 1	2	3	
Grès paléozoïques BORKOU-TIBESTI																									
19°36 latitude N	725	29	49	15	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-	-	-	1	80	<1%	93	4	-	
15°45 longitude E																									
18°59 latitude N	167	15	56	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	<1%	99	-	-	Muscovite
16°38 longitude E																									
18°28 latitude N	66	9	75	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3	-	1	-	6	1	60	<1%	86	7	6	
17°21 longitude E																									
OUADDAI																									
Adré (Abou, Goulem -	01	1	79	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-		20	<1%	98	2	-	
Adré)	02	22	41	14	-	-	-	1	-	1	-	-	-	7	-	6	-	-	6	40	<1%	77	15	-	2 altérée
Iriba (Iriba)	03	15	70	5	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	6	56	<1%	90	4	-	
Golafara (Guérada)	04	29	35	4	-	-	9	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	20	55	<1%	68	11	-	Muscovite
Grès "Continental Terminal" BORKOU-TIBESTI																									
18°27 latitude N	57	6	50	11	-	-	-	-	-	2	-	-	2	2	-	-	-	3	24	80	<1%	67	4	3	
17°04 longitude E																									
17°35 latitude N	102	12	71	7	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	88	<1%	90	3		3 altérée
18°50 longitude E																									
20° latitude N	668	20	62	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	24	<1%	91	-	-	
15°23 longitude E																									
17°43 latitude N	18	7	70	10	-	-	1	2	-	1	-	-	-	6	-	-	-	-	2	40	<1%	87	10	-	1 altéré
17°01 longitude E																									
Formations actuelles (Dunes en mouvement)																									
18°15 latitude N	1140	6	4	-	-	-	-	4	3	-	-	-	20	26	-	6	28	-	3	60	0,70	10	39	28	
18°35 longitude E	1141	6	26	8	-	-	2	4	-	-	-	-	8	10	-	6	28	-	2	64	2,05	40	22	28	

x 69 % ronds 10 % peu usés

(1) voir à Méthodes analytiques.

TABLEAU 4

Examens divers

N°	Examen sur lame mince
GRES PALEOZOIQUES BORKOU-TIBESTI	
725	Grès à ciment siliceux. Prédominance de quartz. 3 % Feldspaths alcalins
167	Arkose à grain fin. Ciment ferrugineux. Structure quartzitique. Feldspaths alcalins (25 %). Dans le ciment : muscovite abondante (fréquence 25 de taille moyenne dont 70 % altérés) et épidote verte et brune (fréquence 15).
66	Grès à ciment siliceux. Prédominance de quartz. 4 % Feldspaths alcalins
OUADDAI	
01	Argilite finement sableuse représentant le niveau moyen (Argile 18 %, limon 23 %, sables fins 42 %, sables grossiers 17 %).
GRES "CONTINENTAL TERMINAL" BORKOU-TIBESTI	
57	Grès grossiers à ciment ferrugineux 2 %. Feldspaths alcalins
102	Grès quartzitique fin à ciment ferrugineux. Les quartz présentent l'enrichissement en silice caractéristique des quartzites 2 % Feldspaths alcalins.
668	Arkose à grains grossiers et ciment fortement rubéfié. Une croûte ferrugineuse entoure des grains de quartz et de feldspath. A l'intérieur de cette coque, vestiges d'argile pratiquement disparue. Quartz 80 à 85 % à faces recristallisées. Feldspaths alcalins 15 à 20 %
18	Arkose à grains moyens. Les quartz paraissent plus altérés que les feldspaths. On observe notamment des grains plus ou moins fracturés. Les interstices sont remplis d'oxyde de fer. Feldspaths 30 % - albite et orthose.

FORMATIONS CONTINENTALES TERMINALES

TABLEAU 5

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Formation des sols rouges

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	écart	Méd.	Coloration
	T						
Bégangber (Moundou)	191	0–20	0,63	0,66	0,03	0,265	5 YR 3/4
	193	60–80	0,60	0,67	0,07	0,290	10 R 4/6
	195	220–240	0,71	0,75	0,04	0,315	7,5 R 4/8
Douyou (Koumra)	141	0–20	0,59	0,60	0,01	0,215	2,5 YR 3,5/4
	143	100–120	0,58	0,65	0,07	0,295	10 R 4,5/8
	145	220–240	0,61	0,74	0,13	0,250	10 R 4/8
Nord de Krim-Krim (Pianga)	321	0–15	0,38	0,39	0,01	0,114	2,5 YR 4/4
	324	120–140	0,54	0,65	0,11	0,140	10 R 4,5/8
Boro (Moundou)	215	200–220	0,95	1,14	0,19	0,310	10 R 4,5/8
Kyabé (Fort-Archambault)	21	0–10	0,78	0,84	0,06	0,250	10 R 3/6
	24	25–45	0,87	0,90	0,03	0,240	10 R 4/6
	27	230–240	0,80	0,92	0,12	0,380	10 R 4/6
Ouest de Gounou Gaya (Pianga)	351	0–20	0,43	0,47	0,04	0,130	5 YR 5/4
	353	90–110	0,46	0,47	0,01	0,150	2 YR 4,5/8
	355	215–225	0,44	0,46	0,02	0,138	2 YR 4,5/8
	Mi						
Kédili (Miltou)	131	0–20	0,71	0,74	0,03	0,295	5 YR 4/6
	133	120–140	0,51	0,71	0,20	0,455	2,5 YR 4/8
	Me						
Badanga (Melfi)	241	0–15	0,60	0,65	0,05	0,270	5 YR 5/4
	243	200	0,57	0,57	–	0,255	2,5 YR 4/8
	Ma						
Mangalmé (Mangalmé)	661	0–10	0,61	0,67	0,06	0,220	2,5 YR 4/5
	663	90–110	0,67	0,84	0,17	0,310	10 R 4/6
	665	320–330	0,81	0,83	0,02	0,265	10 R 4/6

TABLEAU 6

Examen morphoscopique des sables

Formations de sols rouges

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU	Feld %
	T									
Bégangber (Moundou)	191	0–20	2	93	1	–	3	1	0,222	4
	193	60–80	4	94	2	–	–	–	0,196	–
	195	220–240	–	92	6	–	–	2	0,224	2
Douyou (Koumra)	141	0–20	12	80	6	–	2	–	0,200	–
	143	100–120	13	78	6	–	3	–	0,204	2
	145	220–240	18	76	6	–	–	–	0,176	4
Nord de Krim-Krim (Pianga)	321	0–15	18	76	6	–	–	–	0,176	–
Kyabé (Fort-Archambault)	21	0–10	19	74	4	–	1	2	0,188	1
	24	25–45	21	75	2	–	1	1	0,174	3
	27	220–240	21	72	1	–	5	1	0,196	5
Ouest de Gounou Gaya (Pianga)	351	0–20	15	74	–	–	11	–	0,236	–
	352	90–110	14	72	3	–	9	2	0,244	6
	355	215–225	13	76	4	–	6	1	0,224	2
	Mi									
Kédili (Miltou)	131	0–20	20	76	4	–	–	–	0,168	–
	133	120–140	22	78	–	–	–	–	0,156	–
	Me									
Badanga (Melfi)	241	0–15	32	50	12	–	6	–	0,196	8
	243	200	20	74	4	–	2	–	0,180	–
	Ma									
Mangalmé (Mangalmé)	661	0–10	3	46	–	–	36	15	0,500	4
	663	90–110	6	48	32	–	–	14	0,336	–
	665	320–330	10	55	29	–	–	6	0,274	–

TABLEAU 7

Examen granulométrique total du sédiment - Coloration des échantillons

Argilites et argilites finement sableuses

Origine	N°	Prof.	A % (1)	L % (2)	Sf % (3)	SG % (4)	Coloration
	T						
Nord de Baïbokoum (Baïbokoum)	260	En affleurement	50	20	15	15	gris-rosé 5 YR 7/4
		légèrement induré : Kaolinite 55%, goethite 20%, quartz 10 %.					
Béganngber (Moundou)	B 4	En affleurement	76	11	6	7	blanches veinées jaune-rouge-violet
		kaolinite, traces de goethite					
	T						
Boro (Moundou)	181	En affleurement thalweg : kaolinite	67	15	11	7	idº
Près de Bébo (Moundou)	170	6 m légèrement induré : kaolinite 50 %, goethite 16 %, gibbsite 4 à 5 %, quartz 17 %					jaunâtre (10 YR 8/8) ou versicolore
Nord de Krim-Krim (Pianga)	300	30 m : kaolinite, quartz	19	35	39	7	blanches
	300'	idº	30	25	38	7	blanches veinées
		kaolinite, quartz, traces de goethite					jaune-rouge-violet
		Arkoses					
	BK						
Boum-Kébir (Lac Iro)	2	10 m : kaolinite, quartz, traces de goethite	32	25	10,5	32,5	blanches veinées de jaunes (7,5 YR 8/8)
	3	15 m Fraction 0 à 35µ : 50 % kaolinite, quartz, traces de goethite					saumon (10 R 6/8) à taches blanches ou ocres
	4	20 m Fraction 0 à 35µ : 42 %					beige jaunâtre avec passages argileux saumon

(1) A. Argile (0 à 2 µ)
(2) L. Limon (2 à 20 µ)
(3) Sf Sable fin (20 à 200 µ)
(4) SG Sable grossier (200 à 2000 µ)

TABLEAU 8

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Grès - Arkoses

Origine	N°	Prof.	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	B						
Béganngber (Moundou)	5	En affleurement	0,55	0,63	0,08	0,300	brun-noir à fines inclusions blanches
	T						
Bébo (Moundou)	171	En affleurement	0,56	0,58	0,02	0,560	blanc
5 km Sud de Kélo (Pianga)	310	13 m	0,31	0,30	0,01	0,460	jaune et rouge
Ouest de Gounou Gaya (Pianga)	370	15 m	0,95	0,95	-	0,160	versicolore
Kyabé (Port-Archambault)	292	15 m	0,50	0,78	0,28	0,700	rouge à panachage blanc
	BK						
Boum Kébir (Lac Iro)	2	10 m	0,44	0,55	0,11	0,505	
	3	15 m	0,53	0,60	0,07	0,555	
	4	20 m	0,80	0,85	0,05	0,280	
							voir tableau 7
		Argilites finement sableuses					
	T						
Nord de Krim-Krim (Pianga)	300	30 m	0,32	0,35	0,03	0,114	
	300'	30 m	0,45	0,46	0,01	0,087	

TABLEAU 9

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof.	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU	Feld %
		GRES								
Bégangber (Moundou)	B 5	En affleurement	60	30	8	-	-	2	0,108	5
Près de Boro (Moundou)	T 182	En affleurement dans un thalweg	Pratiquement tous anguleux							
Bébo (Moundou)	171	En affleurement	86	10	4	-	-	-	0,036	30
5 km au Sud de Kélo (Fianga)	310	13 m	34	41	15	-		10	0,222	4
Ouest de Gounou Gaya (Fianga)	370	15 m	26	42	20	-		12	0,260	3
Kyabé (Fort-Archambault)	292	15 m	51	40	-	-	-	9	0,152	15
	BK								A 0,1 mm	
Boum Kébir (Lac Iro)	2	10 m	Quartz uniquement anguleux							2 %
	3	15 m	" " "							
	4	20 m	84 % de micas - 10 % de quartz anguleux							6 %
		ARGILITES FINEMENT SABLEUSES								
Nord de Krim-Krim (Fianga)	T 300	30 m	62	38	-	-	-	-	0,076	-
	300'	30 m	84	16	-	-	-	-	0,032	-

TABLEAU 10

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	Groupements 2	Groupements 3	
Formations de sols rouges																									
	T																								
Bégangber (Moundou)	191	6	8	25	-	1	8	41	-	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	12	0,50	39	55	-	
	193	9	10	20	-	-	4	44	-	1	-	-	-	5	-	5	-	-	-	28	0,60	39	59	-	
	195	4	18	30	-	-	-	34	2	2	-	-	-	6	-	4	-	-	-	25	0,55	52	48	-	
Douyou (Koumra)	141	28	18	11	-	-	9	29	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	1	40	0,35	57	42	-	
	143	12	30	22	-	-	8	20	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	48	0,35	64	36	-	
	145	18	30	4	-	-	6	22	-	2	-	-	-	4	-	2	-	-	10	72	0,30	52	36	-	
Boro (Moundou)	215	5	43	26	-	-	4	14	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	2	56	1,33	74	24	-	
Nord de Krim-Krim (Fianga)	321	6	46	8	-	-	6	14	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	4	56	1,25	60	34	-	
	324	22	28	4	-	-	26	15	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	2	52	1,33	54	46	-	
Kyabé (Fort-Archambault)	21	19	26	9	-	-	29	10	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	4	60	0,30	54	42	-	
	24	10	36	8	4	2	20	8	-	2	-	-	-	-	-	8	-	-	-	56	0,40	54	44	-	2 altérés
	27	4	48	8	-	-	20	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	-	6	48	0,42	60	34	-	
Ouest de Gounou-Gaya (Fianga)	351	16	44	10	2	-	4	12	-	6	-	-	-	2	-	4	-	-	-	52	0,15	70	30	-	
	353	18	38	8	2	-	18	6	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	6	68	0,20	64	30	-	
	355	20	36	10	-	2	16	10	-	-	2	-	-	4	-	-	-	-	-	60	0,25	66	34	-	
Kédili (Miltou)	Mi																								
	131	-	96	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76	2,10	96	4	-	
	133	-	90	-	2	-	-	2	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	2	96	1,60	90	8	-	
Badanga (Melfi)	Mo																								
	241	7	64	6	-	-	1	4	4	5	1	-	-	7	-	1	-	-	-	72	1,27	77	23	-	
	243	6	70	6	-	-	1	6	2	5	-	-	1	3	-	-	-	-	-	75	1,31	82	17	-	
Mangalmé (Mangalmé)	Ma																								
	661	8	74	-	-	-	4	8	2	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	60	1,44	82	18	-	
	663	10	70	-	-	-	-	6	-	2	-	-	-	10	-	2	-	-	-	48	0,50	80	20	-	
	665	10	72	2	-	-	-	8	-	-	-	-	-	4	-	4	-	-	-	76	0,50	84	16	-	

TABLEAU 11

Minéraux lourds

Origine	Préchantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements: 1	2	3
GRES - ARKOSES	B																							
Bégangbar (Moundou)	5	4	36	12	-	-	6	32	-	-	-	-	4	6	6	-	-	-	-	84	2,40	52	44	
	T																							
Près de Boro (Moundou)	182	Opaques et altérés dominants.											1	diesthène observé						-	10,3	-	-	-
Bébo (Moundou)	170	20	52	7	-	-	2	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	9	65	< 1	87	4	
5 km Sud de Kólo (Fianga)	310	11	44	9	-	-	9	12	-	-	-	-	1	1	9	2	-	2	9	60	0,50	64	24	2
Ouest de Gounou-Gaya (Fianga)	370	5	39	8	-	-	8	10	-	6	-	-	-	8	5	13	-	-	3	65	0,3	52	45	-
Kyabé (Fort Archambault)	292	26	15	2	-	4	24	3	6	-	-	-	-	-	24	14	-	-	6	2	2,70	43	51	-
	BK																							
Boum-Kébir (Lac Iro)	2	-	Quelques zircons - Opaques très abondants																	92	1,38	-	-	-
	3	-	Zircons - Opaques abondants													-	-	-	-	66	0,62	-	-	-
	4	-	Quelques zircons - Opaques très abondants																	99	2,85			
ARGILITES ET ARGILITES FINEMENT SABLEUSES																								
	T																							
Nord de Baïbokoum (Baïbokoum)	260	11	44	9	-	-	9	12	-	-	-	-	1	2	9	1	-	2	9	85	6,7	64	24	2
Près de Boro (Moundou)	181	-	29	21	-	-	-	36	-	-	-	-	-	7	-	7	-	-	-	72	< 0,1	50	50	-
Près de Bébo (Moundou)	170	5	57	16	-	12	-	7	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1	65	< 1	78	21	-
Nord de Krim-Krim (Fianga)	300	39	42	6	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3	-	15	-	-	14	66	0,11	67	19	-
	300	20	68	4	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	60	0,57	92	6	-

FORMATIONS ANCIENNES REMANIEES

TABLEAU 12

Origine	N°	Hét.	Qd Phi	Méd.	IU
KYABE (Fort-Archambault)	T 21	0,78	0,84	0,250	0,188
	24	0,87	0,90	0,240	0,174
	27	0,80	0,92	0,370	0,196
	121	0,69	0,69	0,217	0,248
	123	0,64	0,69	0,235	0,192
	125	0,70	0,76	0,235	0,240

TABLEAU 13

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperosthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	2	3	
	T																								
Kyabé (Fort Archambault)	21	19	26	9	–	–	29	10	1	–	1	–	–	–		1	–	–	4	60	0,30	54	42	–	
	24	10	36	8	4	2	20	8	–	2	–	–	–	–		8	–	–	–	56	0,40	54	44	–	2 altérés
	27	4	48	8	–	–	20	2	–	2	–	–	–	–		10	–	–	6	48	0,42	60	34	–	
	121	24	20	–	–	–	42	4	2	2	–	–	–	2		–	–	–	4	56	0,25	44	52	–	
	123	32	16	4	2	2	32	4	–	2	–	–	–	–		6	–	–	–	56	0,25	52	48	–	
	125	16	20	2	–	–	36	8	2	2	–	–	–	–		12	–	–	2	52	0,20	38	60	–	

TABLEAU 14

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Méd.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	T						
N.O de Gounou Gaya	341	0–25	0,53:	0,54	0,01	0,150	10 YR 5/2
(Fianga)	344	130–150	0,60:	0,61	0,01	0,185	10 YR 6,5/4 avec marbrures 5 YR 6/8
	361	0–20	0,45:	0,50	0,05	0,140	7,5 YR 4,5/2
	365	300–330	0,48:	0,50	0,02	0,140	7,5 YR 7/5
	Mi						
Près de Gadang-Gougouri	571	0–20	0,70:	0,72	0,02	0,240	10 YR 5/2
(Miltou)	573	100–120	0,73:	0,75	0,02	0,250	7,5 YR 6,8
Entre Djana et Laïri	201	0–20	0,66:	0,75	0,09	0,280	10 YR 5/3
(Miltou)	203	140	0,59:	0,67	0,08	0,265	10 YR 6,5/6
	My						
Près de Dongoro	151	0–20	0,75:	0,76	0,01	0,280	10 YR 4/2
(Maséénya)	153	70–90	0,70:	0,77	0,07	0,300	5 YR 6/6
	F						
17 km de Dourbali vers	121	0–20	0,55:	0,56	0,01	0,150	10 YR 5,5/6
Bougoumène (Mogroum)	123	80–100	0,55:	0,56	0,01	0,155	7,5 YR 5,5/8
Abou-Garga	321	0–15	0,63:	0,67	0,04	0,190	10 YR 5/4
(Massénya)	323	60–80	0,53:	0,70	0,17	0,205	5 YR 5,5/8
	Bk						
Bokoyo (Sud-Est de Fort-Lamy)	241	0–20	0,53:	0,57	0,04	0,186	10 YR 6/3
	243	70–90	0,55:	0,56	0,01	0,166	10 YR 6,5/6
(Mogroum)	245	220–240	0,58:	0,61	0,03	0,162	10 YR 7/3
	F						
Près d'Am-Tanabo	31	0–20	0,49:	0,50	0,01	0,210	10 YR 5/4
(Mogroum)	33	80–100	0,49:	0,51	0,02	0,210	10 YR 5,5/6
	BO						
Sud de Bokoro	901	0–20	0,72:	0,72	–	0,230	10 YR 4,5/3
(Bokoro)	903	120–140	0,75:	0,78	0,03	0,250	5 YR 5,5/8
	904	200–220	0,74:	0,78	0,04	0,240	5 YR 5,5/8
Sud du Lac Fitri	382	40–60	0,72:	0,78	0,06	0,305	7,5 YR 5,5/8
(Bokoro)	384	200–220	0,81:	0,81	–	0,310	7,5 YR 5,5/8

TABLEAU 17

Examen granulométrique des sables et coloration

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	FL						
Massakory (Fort-Lamy)	331	120-140	0,31	0,34	0,03	0,116	2,5 Y 5/2
	333	180-200	0,24	0,25	0,01	0,100	2,5 Y 5,5/2
	334	240-260	0,22	0,22	-	0,145	2,5 Y 8/4
	BOL						
Bol (Bol)	21	0-7					10 YR 7/3
	22	10-20	0,25	0,32	0,07	0,205	7,5 YR 8/8
	23	40-50					7,5 YR 7/8
	24	130-140	0,25	0,33	0,08	0,200	10 YR 8/6
	61	0-75	0,25	0,30	0,05	0,168	10 YR 5/3
	63	45-75	-	-	-	-	10 YR 6/4
	64	75-100	0,28	0,32	0,04	0,170	10 YR 8/6
	MO						
Ouest de Bédina (Mongo)	451	0-20	0,50	0,67	0,17	0,215	10 YR 6/4
	453	90-110	0,58	0,65	0,07	0,215	7,5 YR 7/8
Man Tcherma (Mongo)	571	0-20	0,53	0,55	0,02	0,185	10 YR 6/4
	572	50-70	0,52	0,55	0,03	0,190	7,5 YR 5,5/6
Nord-Est de Birni (Mongo)	581	0-20	0,83	0,85	0,02	0,230	7,5 YR 6/6
	583	90-100	0,83	0,85	0,02	0,220	5 YR 6/8
	A						
Ouest d'Oum-Hadjer (Oum-Hadjer)	121	0-20	0,57	0,66	0,09	0,240	7,5 YR 7/6
	123	80-100	0,61	0,63	0,02	0,255	5 YR 6,5/8
	R						
Ranch Ouadi Rimé S.O. Ifénat (Ati)	181	0-20	0,52	0,65	0,13	0,235	10 YR 5/3
	183	80-100	0,58	0,65	0,07	0,250	7,5 YR 6/8
	185	260-280	0,65	0,71	0,06	0,055	10 YR 7,5/6
	T						
Ranch Ouadi Rimé (Ati)	11	0-25	0,67	0,71	0,04	0,235	10 YR 5,5/3
	13	60-80	0,66	0,70	0,04	0,255	7,5 YR 6/6
	15	160-180	0,64	0,76	0,12	0,270	7,5 YR 7,5/6
	16	180-200	0,70	0,70	-	0,255	2,5 Y 8/2
	17	250	0,72	0,99	0,27	0,270	2,5 Y 8/2
	R						
Idº N.O d'Ifénat (Ati)	971	0-20	0,57	0,57	-	0,205	10 YR 6,5/7
	973	100-120	0,50	0,52	0,02	0,188	7,5 YR 6/8
	A						
Nord d'Arada (Oum-Chalouba)	881	0-20	0,80	0,82	0,02	0,285	10 YR 7/4
	883	230-250	0,75	0,78	0,03	0,240	10 YR 7/8

TABLEAU 18

Examen gomphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	FL								
Massakory (Fort-Lamy)	331	120-140	-	19	6	-	25	50	0,662
	333	180-200	-	20	2	-	26	52	0,672
	335	240-260	-	22	7	-	36	35	0,640
	Bol								
Bol (Bol)	21	0-7	-	11	-	-	29	57	0,716
	22	10-20	-	12	-	-	32	56	0,728
	23	40-50	-	2	1	-	22	75	0,784
	24	130-140	-	6	-	-	32	62	0,764
Bol (Bol)	61	0-15	-	14	-	-	22	64	0,716
	63	45-75	-	6	2	-		92	0,756
	64	75-100	-	1	2	-	22	75	0,786
	MO								
O. de Bédina (Mongo)	451	0-20	20	25	16	-	20	19	0,426
	453	90-110	21	22	17	-	20	20	0,432
Man Tcherma (Mongo)	571	0-20	36	30	8	-	14	12	0,300
	572	50-70	36	28	10	-	14	12	0,304
N.E. de Birni (Mongo)	581	0-20	41	32	12	-	10	5	0,232
	583	90-100	42	31	13	-	10	14	0,306
	A								
S.O. d'Oum Hadjer (Oum Hadjer)	121	0-20	2	47	8	-	22	21	0,470
	123	80-100	12	49	5	-	23	11	0,390
	R								
Ranch Ouadi Rimé S.O. d'Ifénat (Ati)	181	0-20	8	29	7	-	35	21	0,534
	183	80-100	15	26	6	-	12	41	0,500
	185	260-280	10	20	6	-	15	49	0,576
	T								
Ranch Ouadi Rimé (Ati)	11	0-25	6	36	6	-	17	35	0,512
	13	60-80	10	33	4	-	17	36	0,514
	15	160-180	13	29	6	-	4	48	0,498
	16	180-200	16	24	5	-	19	46	0,588
	17	250	10	26	2	-	17	45	0,556
idº N.O. d'Ifénat (Ati)	R 971	0-20	11	43	2	-	21	23	0,446
	973	100-120	10	40	3	-	23	24	0,468
	A								
N. Arada (Oum Chalouba)	881	0-20	10	10	-	-	35	45	0,660
	883	230-250	2	16	-	-	18	64	0,688

TABLEAU 19

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperasthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements: 1	2	3	
	FL																								
Massakory (Fort-Lamy)	331	11	63	5	–	1	2	–	–	2	–	–	1	11	–	2	–	–	–	56	0,32	79	18	–	2altérée
	333	28	33	2	–	2	4	–	2	1	1	–	8	13	–	4	–	–	–	44	0,30	63	27	–	2diopside
	334	32	35	3	2	2	7	–	1	1	–	–	–	10	–	7	–	–	–	76	0,24	72	28	–	
	Bol																								
Bol (Bol)	21	22	54	2	–	2	4	–	–	2	–	–	–	8	–	–	–	–	2	64	0,15	78	18	–	4altérée
	22	18	54	2	2	4	4	–	–	–	2	–	–	12	–	2	–	–	–	48	0,10	76	24	–	
	23	20	62	–	2	–	2	–	–	2	–	–	–	8	–	2	–	–	–	60	0,10	84	14	–	2altérée
	24	18	70	3	1	–	1	–	–	–	–	–	1	4	–	–	–	–	–	68	0,15	92	5	–	2altérée
Bol (Bol)	61	22	64	–	–	–	4	–	–	2	2	–	–	4	–	2	–	–	–	60	0,10	86	14	–	
	62	18	54	2	–	–	4	–	2	2	–	–	–	12	–	2	–	–	–	68	0,05	74	22	–	4altérée
	63	40	35	2	–	1	12	–	–	1	1	–	1	4	–	1	–	–	–	52	0,05	77	20	–	2altérée
	64	26	58	–	–	2	4	–	–	–	–	–	–	8	–	2	–	–	–	76	0,10	84	16	–	
	Mo																								
Ouest de Bódina (Mongo)	451	22	40	–	–	–	4	10	4	4	2	–	4	2	–	6	–	–	2	56	0,35	62	34	–	
	453	18	60	2	–	–	4	2	6	–	–	–	–	6	–	–	–	–	2	80	0,30	80	20	–	
Man Tcherma (Mongo)	571	6	40	4	–	–	6	2	–	2	2	–	4	32	–	–	–	–	–	76	0,50	50	44	–	2altérés
	572	2	46	2	–	–	4	4	–	–	2	–	10	28	–	–	–	–	2	72	0,40	50	40	–	
N.E. de Birni (Mongo)	581	8	72	–	–	–	2	4	–	–	–	–	–	10	–	2	–	–	–		0,55	80	18	–	2altérés
	583	16	60	4	–	–	–	6	4	4	–	–	–	6	–	–	–	–	–	84	0,45	80	20	–	
	A																								
Sud-Ouest d'Oum Hadjer (Oum Hadjer)	121	15	44	2	–	–	2	1	–	5	2	–	10	12	–	5	–	–	–	76	0,58	61	27	–	2 pigeonites
	123	12	54	–	–	2	2	4	4	8	–	–	2	8	–	2	–	–	–	76	0,23	66	30	–	1

TABLEAU 19 (suite)

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperasthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements: 1	2	3	
	R																								
Ranch Ouadi Rimé SO d'Iféna (Ati)	181	4	63	3	–	–	2	5	2	3	1	–	3	10	–	2	–	–	1	56	0,35	70	26	–	1mucovite
	183	10	42	1	3	1	3	2	2	4	2	–	2	22	–	6	–	–	–	48	0,25	53	45	–	
	185	4	58	4	–	–	2	10	–	–	–	–	–	16	–	6	–	–	–	56	0,25	66	34	–	
	T																								
Ranch Ouadi Rimé (Ati)	11	4	34	–	–	–	–	20	2	–	2	–	4	20	–	12	–	–	–	54	0,20	38	56	–	2altérés
	13	6	34	4	–	–	4	20	–	2	–	–	–	24	–	4	–	–	2	48	0,25	44	56	–	
	15	12	36	–	–	–	2	12	2	4	–	–	2	26	–	2	–	–	–	56	0,20	48	48	–	2muscovite
	16	16	26	–	–	–	4	14	–	6	2	–	2	26	–	4	–	–	–	48	0,20	42	56	–	
	17	6	38	2	–	–	2	14	2	2	2	–	4	10	–	10	–	–	4	54	0,25	46	42	–	4altérés
	R																								
Ranch Ouadi Rimé NO d'Iféna (Ati)	971	2	40	–	2	4	–	4	–	4	2	–	2	34	–	6	–	–	–	44	0,20	42	56	–	
	973	14	22	2	–	–	14	8	–	6	–	–	2	30	–	2	–	–	–	56	0,10	38	60	–	
	A																								
Nord d'Arada (Oum Chalouba)	881	15	53	7	1	–	1	2	–	2	–	–	8	5	–	6	–	–	–	48	0,43	75	17	–	
	883	25	44	4	–	–	4	–	1	–	–	–	5	9	–	8	–	–	–	56	0,10	73	22	–	

TABLEAU 22

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole Trémolite	Amphibole Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	2	3	
	T																								
Bóló près d'Eró (Fianga)	391	2	46	2	-	6	-	-	-	18	-	-	2	16	-	6	-	-	2	84	1,30	50	46		
	392	2	62	2	-	-	-	6	2	6	-	-	10	10	-	-	-	-	-	76	1,20	66	24		
	393	2	42	4	-	-	6	4	-	12	-	-	4	16	-	6	-	-	-	76	0,95	48	44		4altérés
	394	-	50	2	-	-	-	2	-	8	-	-	6	20	-	8	-	-	2	72	1,30	52	40		
Koubo Abou Gara SE d'Am Timan (Djouna)	41	4	6	4	-	-	48	14	2	6	2	-	2	4	-	2	-	-	6	64	0,45	14	78		
	43	11	15	2	-	-	43	13	7	1	2	-	-	2	-	2	-	-	2	52	0,35	28	70		
	45	18	10	-	-	-	30	10	-	6	-	-	-	2	-	14	-	-	10	36	0,25	28	62		
	47	14	10	2	-	-	30	6	-	16	-	-	2	2	-	16	-	-	-	52	0,25	26	70		2 sauvaurites
Près de Bongor (Bongor)	461	6	14	-	-	-	10	2	2	16	-	-	30	6	-	4	-	-	8	48	0,55	20	42		
	463	4	24	4	-	-	-	8	-	12	-	-	18	20	-	4	-	-	6	56	0,50	32	44		

TABLEAU 23

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Mét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	T						
Charati (Djouna)	31'	0-20	0,54	0,60	0,06	0,144	10 YR 4/1
	33'	90-110	0,50	0,58	0,08	0,148	10 YR 8/4
	F						
Bouram (Mogroum)	171	0-20	0,53	0,53	-	0,156	10 YR 5,5/3
	173	60-80	0,49	0,53	0,04	0,166	10 YR 6,5/5
Près Bilabou vers Modorio (Mogroum)	211	0-20	0,22	0,23	0,01	0,102	10 YR 4,5/4
	213	100-120	0,23	0,23	-	0,106	7,5 YR 5,5/8
	My						
Oualdi (Maoundya)	251	0-20	0,50	0,51	0,01	0,150	10 YR 5/2
	253	80-100	0,48	0,48	-	0,142	10 YR 4,5/4
	F						
Près de Bougoumène (Mogroum)	151	0-20	0,30	0,33	0,03	0,126	10 YR 5/3
	153	180-200	0,31	0,31	-	0,128	10 YR 6,5/6
	FL						
Sud de Maoundguet (Fort-Lamy)	51	0-20	0,30	0,37	0,07	0,126	10 YR 5,5/3
	54	100-120	0,32	0,37	0,05	0,124	7,5 YR 5,5/6
	Da						
Dabkaraye Nord-Est Fort-Lamy (Fort-Lamy)	221	0-20	0,43	0,43	-	0,130	10 YR 6/3
	223	60-80	0,43	0,43	-	0,129	10 YR 6/4
	225	200-220	0,44	0,44	-	0,152	10 YR 7,5/3
	DO						
Nord d'Abourda (Bokoro)	311	0-20	0,66	0,67	0,01	0,196	10 YR 5/2
	313	80-100	0,68	0,71	0,03	0,180	10 YR 6/4
Nord-Est de Bokoro (Bokoro)	351	0-20	0,40	0,47	0,07	0,186	10 YR 4/1
	353	80-100	0,52	0,57	0,05	0,202	10 YR 5/2

TABLEAU 24

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	T								
Charati (Djouna)	31'	0–20	4	86	2	–	6	2	0,244
	33	90–110	23	58	4	–	3	12	0,252
	F								
Bouram (Mogroum)	171	0–20	10	76	14	–	–	–	0,208
	173	60–80	12	74	10	–	4	–	0,220
Près Bilabou vers Modorio (Mogroum)	211	0–20	84	72	18	–	2	–	0,232
	213	100–120	32	50	16	–	2	–	0,180
	My								
Oualdi (Massénya)	251	0–20	4	82	14	–	–	–	0,220
	253	80–100	–	78	22	–	–	–	0,244
	F								
Près Bougoumène (Mogroum)	151	0–20	20	64	10	–	4	2	0,216
	153	180–200	14	76	8	–	2	–	0,200
	FL								
Sud de Massaguet (Fort-Lamy)	51	0–20	–	54	8	–	15	23	0,444
	54	100–120	–	42	16	–	15	27	0,484
	Da								
Dabkarayo – Nord-Est de Fort-Lamy (Fort-Lamy)	221	0–20	–	20	18	–	16	46	0,608
	223	60–80	–	28	16	–	22	34	0,568
	225	200–220	–	28	16	–	26	30	0,568
	BO								
Nord d'Abourda (Bokoro)	311	0–20	34	40	8	–	16	2	0,256
	313	80–100	33	38	8	–	16	5	0,276
Nord-Est de Bokoro (Bokoro)	351	0–20	6	66	5	–	16	7	0,336
	353	80–100	11	60	12	–	–	17	0,304

TABLEAU 25

Minéraux lourds

Origine	N° échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements: 1	2	3	
	T																								
Charati (Djouna)	31'	14	23	5	–	–	11	10	2	8	3	–	–	9	–	12	–	–	2	32	0,40	42	55	–	altéré
	33'	8	28	2	–	–	26	8	4	4	–	–	–	10	–	8	–	–	2	68	0,35	38	60	–	
	F																								
Bouram (Mogroum)	171	16	12	10	–	–	16	2	–	10	2	–	8	14	–	8	–	–	2	40	0,50	38	52	–	
	173	10	12	10	–	–	26	12	6	6	2	–	6	10	–	–	–	–	–	64	0,40	32	62	–	
Bilabou vers Modorio (Mogroum)	211	18	8	4	–	–	34	8	–	14	2	–	2	4	–	6	–	–	–		0,70	30	68	–	
	213	18	10	2	–	–	26	6	–	14	8	–	–	6	–	2	–	–	8	48	0,55	30	62	–	
	My																								
Oualdi (dépression Massénya)	251	6	18	7	–	–	23	9	–	9	2	–	5	11	–	9	–	–	–	68	0,60	31	63	–	altéré
(Massénya)	253	12	9	7	–	–	20	11	2	9	1	–	9	11	–	6	–	–	2	60	0,55	28	62	–	altéré
	F																								
Près Bougoumène (Mogroum)	151	12	23	1	–	4	13	10	–	9	3	–	7	14	–	5	–	–	2	36	0,65	36	55	–	
	153	6	6	4	–	–	–	6	2	10	2	–	14	18	–	28	–	–	4	40	0,55	16	66	–	
	FL																								
Sud Massaguet (Fort-Lamy)	51	18	19	9	–	10	9	4	2	2	2	–	5	13		4	–	–	1	60	0,42	46	46	–	2 diopoïdes
	54	17	34	–	–	10	7	2	–	3	2	–	2	13		6	–	–	3	84	0,40	51	43	–	1diopoïde
	Da																								
Dabkaraye (Fort-Lamy)	221	13	44	3	3	1	–	2	–	2	1	–	2	23	–	6	–	–	–	56	0,32	60	38	–	
	223	16	33	5	2	5	2	4	–	3	1	–	2	18	–	9	–	–	–		0,24	54	44	–	
	225	22	31	3	1	–	3	3	–	2	2	–	2	23	–	8	–	–	–	56	0,28	56	42	–	
	BO																								
N. d'Abourda (Bokoro)	311	16	12	20	–	2	10	28	–	6	2	–	–	4	–	–	–	–	–	80	0,35	48	52	–	
	313	4	14	24	–	2	4	26	2	10	2	–	2	6	–	4	–	–	–	60	0,45	42	56	–	
N.E. de Bokoro (Bokoro)	351	22	30	6	–	–	6	4	2	2	4	–	8	16	–	–	–	–	–	72	0,30	58	34	–	
	353	12	16	–	–	–	–	2	8	10	–	–	8	24	–	–	–	–	–	54	0,30	48	44	–	

TABLEAU 28

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole Trémolite	Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	2	3	
	Mo																								
Nord de Bódina (Mongo)	431	10	12	-	-	-	2	8	2	6	2	-	26	30	-	2	-	-	-	60	0,35	22	52	-	
	433	12	13	-	-	-	7	9	-	2	-	-	27	26	-	4	-	-	-	64	0,45	25	48	-	
	Bo																								
Nord d'Alifa (Bokoro)	131	10	8	1	-	-	-	2	1	9	1	-	35	21	-	12	-	-	-	44	0,85	19	46	-	
	133	3	22	2	-	5	-	4	-	1	1	-	26	25	-	11	-	-	-	36	0,91	27	47	-	
	134	3	15	1	-	-	3	2	1	3	3	-	42	19	-	8	-	-	-	44	0,90	19	39	-	
	A																								
Am Dalam (Abéché)	561	8	38	5	-	1	1	2	1	1	2	-	4	32	-	5	-	-	-	60	0,31	51	45	-	
	564	6	37	4	2	2	1	2	3	3	1	-	7	26	-	5	-	-	1	44	0,35	47	46	-	
Entre Biltine et Arada (Biltine)	771	1	-	-	-	2	-	-	-	3	5	-	71	13	-	5	-	-	-	36	0,60	1	28	-	
	773	3	3	-	-	-	-	-	-	-	19	-	59	10	-	4	-	-	2	36	0,55	6	39	-	
Oum Chalouba vers Fada (Oum Chalouba)	1221	6	51	9	-	-	2	-	-	1	5	-	10	11	-	1	-	-	2	44	0,37	68	20	-	
	1223	19	47	13	-	-	2	1	-	-	2	-	10	5	-	-	-	-	-	52	0,25	79	10	-	altéré
Iomet Djomal Sud Abéché	2031	3	6	-	-	-	1	2	3	4	2	-	39	34	-	6	-	-	-	40	0,58	9	52	-	
Nord de Doressa (Abéché)	2034	6	10	2	-	1	1	2	1	5	2	-	32	29	-	6	-	1	1	48	0,37	18	46	1	picoto-nite
45 km à l'Ouest d'Abéché (Abéché)	591	10	10	-	-	-	-	-	-	1	-	-	56	17	-	5	-	-	1	72	0,54	20	23	-	
	594	5	22	-	-	-	-	1	1	-	2	-	51	17	-	1	-	-	-	60	1,10	27	22	-	
Mourrah SO de Matadjéné (Am Zoer)	1641	17	33	2	-	2	2	-	-	2	2	-	28	7	-	5	-	-	-	52	0,40	52	20	-	
	1644	26	17	-	-	3	3	-	-	-	2	-	29	18	-	2	-	-	-	48	0,27	43	28	-	

TABLEAU 29

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	A						
Iomet Djomal Sud-d'Abéché Nord de Doressa (Abéché)	2031	0-20	0,53	0,58	0,05	0,188	10 YR 5/4
	2034	180-200	0,52	0,55	0,03	0,200	10 YR 5,5/5
45 km à l'Ouest d'Abéché (Abéché)	591	0-20	0,40	0,47	0,07	0,207	7,5 YR 5/6
	594	160-180	0,55	0,56	0,01	0,215	10 YR 7/5
Mourrah S.O. de Matadjéné (Am Zoer)	1641	0-20	0,49	0,49	-	0,174	10 YR 6/4
	1644	180-200	0,46	0,46	-	0,152	10 YR 7/6

TABLEAU 30

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	A								
Iomet Djomal Sud-d' Abéché Nord de Doressa (Abéché)	2031	0-20	35	28	14	-	7	16	0,296
	2034	180-200	5	46	5	-	13	31	0,464
45 km à l'Ouest d'Abéché (Abéché)	591	0-20	22	23	3	-	22	30	0,474
	594	160-180	2	32	6	-	20	40	0,568
Mourrah S.O. de Matadjéné (Am Zoer)	1641	0-20	30	15	-	-	14	33	0,406
	1644	180-200	2	10	-	-	40	48	0,724

SERIE SUBACTUELLE A ACTUELLE

TABLEAU 31

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	Mi						
Près de Miltou	501	0-10	1,00	1,02	0,02	0,072	10 YR 6/5
(Miltou)	503	100	0,85	0,90	0,05	0,074	10 YR 6/6
	T						
Eré (Fianga)	401	0-20	1,10	1,15	0,05	0,134	10 YR 4/2
	402	30-50	0,70	0,71	0,01	0,094	10 YR 4,5/3
	EA						
El Amadji	81	0-5	0,30	0,36	0,06	0,088	10 YR 6/3
(Fort-Lamy)	82	5-20	0,30	0,35	0,05	0,085	10 YR 5/4
	83	60-80	0,27	0,30	0,03	0,083	2,5 Y 6/4
	84	100-120	0,27	0,29	0,02	0,083	2,5 Y 6,5/4
	85	150-170	0,25	0,32	0,07	0,085	2,5 Y 7/4
	113	120	0,65	0,66	0,01	0,108	2,5 Y 6/3
	T						
Fort-Lamy	501	0-20	0,35	0,39	0,04	0,106	10 YR 6/4
(Fort-Lamy)	503	23-40	0,38	0,39	0,01	0,090	10 YR 5,5/3
	504	70-90	0,30	0,36	0,06	0,094	2 Y 6,5/2
	A						
Ouest d'Oum Hadjer	371	0-15	0,95	1,00	0,05	0,112	2,5 Y 4,5/2
(Oum-Hadjer)	373	100-120	0,80	1,09	0,29	0,100	2,5 Y 5/2

TABLEAU 32

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	Mi								
Près de Miltou	501	0-10	40	40	16	-	4		0,176
(Miltou)	503	100	58	30	6	-	6		0,132
	T								
Eré (Fianga)	401	0-20	20	68	8	2	-	2	0,196
	402	30-50	20	68	10	2	-	-	0,188
	EA								
El Amadji	81	0-5	18	40	2	-	16	24	0,408
(Fort-Lamy)	82	5-20	28	38	11	-	10	13	0,304
	85	150-170	50	22	10	-	8	10	0,228
	113	120	14	54	28	2	2		0,248
	T								
Fort-Lamy	501	0-20	-	70	10	-	18	2	0,340
(Fort-Lamy)	503	23-40	-	80	2	-	10	8	0,312
	504	70-90	25	61	2	-	8	4	0,226
	A								
Ouest d'Oum Hadjer	371	0-15	26	32	28	-	14		0,288
(Oum Hadjer)	373	100-120	26	36	36	-	8		0,280

TABLEAU 33

Minéraux lourds

Origine	N° échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperasthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements: 1	2	3	
	Mi																								
Près de Miltou (Miltou)	501	4	40	15	-	-	3	4	3	8	-	-	-	14	-	8	-	-	1	76	1,40	59	40	-	
	503	4	28	14	-	-	12	12	-	2	-		6	16	-	4	-	-	2	84	0,47	46	46	-	
	T																								
Eré (Fianga)	401	22	36	10	-	-	6	8	-	-	-	-	-	14	-	4	-	-	-	68	0,8	68	32	-	
	402	2	52	6	-	-	6	6	-	-	-	-	-	22	-	6	-	-	-	60	0,9	60	40	-	
	EA																								
El Amadji (Fort-Lamy)	81	9	21	6	2	-	13	6	-	6	1	-	6	17	-	12	-	-	1	60	0,75	36	57	-	
	82	14	7	8	-	-	21	8	1	9	1	-	10	14	-	7	-	-	-	60	0,00	29	61	-	
	83	5	24	8	1	-	10	6	-	6	-	-	12	18	-	9	-	-	1	48	0,53	37	50	-	
	84	10	31	7	2	-	13	6	1	6	2	-	4	13	-	4	-	-	1	60	0,40	48	47	-	
	85	3	28	13	1	-	16	8	1	5	1	-	8	12	-	2	-	-	2	44	0,65	44	46	-	
El Amadji (Fort-Lamy)	113	8	10	6	-	-	2	10	-	4	-	-	4	10		22	-	-	-	64	0,64	32	64	-	
	T																								
Fort-Lamy (Fort-Lamy)	501	0	14	6	-	-	8	8	-	8	-	-	20	14	-	14	-	-	-	52	0,65	28	52	-	2 sauss.
	503	8	34	4	-	-	4	6	-	6	4	-	6	14	-	14	-	-	-	48	0,55	46	48	-	rites
	504	14	8	4	2	2	12	6	-	8	-	-	18	14	-	8	-	-	-	44	0,15	26	52	-	2 musco-
																									vites
	A																								
Ouest d'Oum-Hadjer	371	-	14	2	-	-	-	-	-	-	2		42	20	-	16	2	2	-	20	0,80	16	38	4	
(Oum Hadjer)	373	-	6	2	-	-	-	-	4	-	4		48	14	-	22	-	-	-	20	0,57	8	44	-	

SERIE ARGILO-SABLEUSE A CAILLOUTIS DES " REGS "

TABLEAU 34

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	AD						
3 km Sud d'Am Dam	21	0-4	1,18	1,22	0,04	0,355	10 YR 5/3
(Am Dam)	24	90-100	1,32	1,32	-	0,260	2,5 Y 6/2
5 km Nord d'Am Dam	141	0-2	1,12	1,16	0,04	0,260	10 YR 5/1
(Am Dam)	142	8-15	1,28	1,42	0,14	0,235	10 YR 4,5/2
	144	70-80	1,35	1,36	0,01	0,390	2,5 Y 5/2
9 km au Nord d'Am Dam	151	1-5	1,12	1,16	0,04	0,217	10 YR 6/1
(Am Dam)	153	40-50	1,22	1,22	-	0,220	10 YR 4/2
	A						
12 km au Sud-Est d'Arada	1391	0-20	0,75	0,75	-	0,146	10 YR 4,5/4
(Biltine)	1393	100-120	0,79	0,88	0,09	0,170	2,5 Y 5/2
Nord d'Arada	1872	40-60	0,68	0,96	0,28	0,132	10 YR 5/3
(Oum Chalouba)	1873	100-120	0,72	0,96	0,24	0,142	2,5 Y 5,5/2

TABLEAU 35

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A%	Sa%	Ar%	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU	Feld %
	AD									
3 km Sud d'Am Dam	21	0-4	8	25	2	-	21	44	0,578	1
(Am Dam)	24	90-100	6	64	-	-	14	16	0,368	5
5 km Nord d'Am Dam	141	0-2	53	25	-	-	8	14	0,226	18
(Am Dam)	142	8-15	20	58	-	-	22	-	0,252	6
	144	70-80	15	63	-	-	10	12	0,302	8
9 km au Nord d'Am Dam	151	1-5	22	35	-	-	24	19	0,414	3
(Am Dam)	153	40-50	4	87	-	-	1	8	0,246	4
	A									
12 km au Sud-Est d'Arada	1391	0-20	20	23	32	-	2	23	0,374	
(Biltine)	1393	100-120	21	12	26	-	4	37	0,456	
Nord d'Arada	1872	40-60	8	36	22	12	-	22	0,408	4
(Oum Chalouba)	1873	100-120	24	36	20	-	8	12	0,312	-

TABLEAU 36

Minéraux lourds

Origine	N° échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole Trémolite	Amphibole Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperesthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	2	3
	AD																							
3 km Sud d'Am Dam	21	12	17	6	-	-	10	19	2	2	5	-	3	18	-	3	-	-	3	60	0,35	35	55	-
(Am Dam)	24	14	24	16	-	-	10	16	-	-	-	-	6	14	-	-	-	-	-	52	0,50	54	40	-
5 km au Nord d'Am Dam	141	8	15	2	-	1	-	4	3	2	-	-	39	25	-	1	-	-	-	32	1,00	25	36	-
(Am Dam)	142	4	12	2	-	-	-	2	-	-	-	-	42	28	-	6	-	-	4	52	0,50	18	36	-
	144	6	20	-	-	-	-	12	-	-	2	-	24	22	-	14	-	-	-	44	0,50	26	50	-
9 km au Nord d'Am Dam	151	13	30	-	-	-	1	2	2	3	3	-	23	17	-	6	-	-	-	44	0,48	43	34	-
(Am Dam)	153	22	20	2	-	-	-	6	-	-	4	-	24	14	-	8	-	-	-	36	0,50	44	32	-
	A																							
12 km au Sud-Est d'Arada	1391	6	30	2	-	-	-	2	-	-	8	-	26	14	-	12	-	-	-	36	0,47	38	36	-
(Biltine)	1393	10	24	8	-	-	-	-	-	-	2	-	24	14	-	18	-	-	-	40	0,37	42	34	-
Nord d'Arada	1872	2	24	-	-	-	4	-	-	-	4	-	20	36	-	10	-	-	-	40	0,57	26	54	-
(Oum Chalouba)	1873	2	28	2	-	-	-	2	-	-	12	-	16	26	-	12	-	-	-	36	0,47	32	52	-

SERIE ARGILO-SABLEUSE A NODULES CALCAIRES

TABLEAU 37

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Mot.	Qd Phi	Ecart	Mód.	Coloration
	T						
Eré (Fianga)	411	0-20	1,08	1,21	0,13	0,265	10 YR 4,5/4
	413	105-125	1,08	1,21	0,13	0,265	2,5 Y 5,5/4
	414	240-260	1,20	1,22	0,02	0,190	2,5 Y 7/4
	Mi						
Sud de Ndaba (Miltou)	341	0-20	0,88	1,18	0,30	0,370	2,5 Y 4,5/4
	342	50	0,98	1,19	0,21	0,320	2,5 Y 4,5/4
	343	100	0,98	1,19	0,21	0,320	2,5 Y 5,5/4
	T						
Koubo Abou Gara (Djouna)	61	0-20	1,30	1,32	0,02	0,260	2,5 Y 4/2
	63	60-80	1,23	1,23	-	0,247	2,5 Y 4,5/4
	65	200-220	1,14	1,20	0,06	0,205	2,5 Y 5,5/4
	G						
Sud de Mahoua (Guéra)	451	0-20	0,85	1,02	0,17	0,270	2,5 Y 5/4
	452	40-60	0,85	1,17	0,32	0,350	2,5 Y 4,5/4
	453	80-100	0,70	0,97	0,27	0,175	2,5 Y 4,5/4
	A						
Nord d'Am Dam (Abéché)	2081	0-20	1,28	1,36	0,08	0,272	2,5 Y 4,5/2
	2083	60-80	1,18	1,24	0,06	0,260	2,5 Y 5,5/4

TABLEAU 38

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU	Feld %
	T									
Eré (Fianga)	411	0-20	24	58	18	-	-	-	0,188	1
	413	105-125	16	76	8	-	-	-	0,184	1
	414	240-260	16	60	24	-	-	-	0,216	1
	Mi									
Sud de Ndaba (Miltou)	341	0-20	10	70	18	-	-	2	0,228	2
	342	50	12	68	20	-	-	-	0,216	-
	343	100	15	63	22	-	-	-	0,214	-
	T									
Koubo Abou Gara (Djouna)	61	0-20	16	54	24	-	-	5	0,236	-
	63	60-80	32	44	16	-	-	8	0,216	1
	65	200-220	20	36	36	-	4	4	0,280	-
	G									
Sud de Mahoua (Guéra)	451	0-20	12	62	26	-	-	-	0,228	
	452	40-60	18	62	18	-	-	2	0,212	
	453	80-100	20	68	8	-	-	4	0,200	
	A									
Nord d'Am Dam (Abéché)	2081	0-20	46	26	18	-	3	7	0,204	
	2083	60-80	12	44	36	-	4	4	0,296	

TABLEAU 39

Minéraux lourds

Origine	Echantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupement 1	Groupement 2	Groupement 3	
	T																								
Eré (Fianga)	411	10	64	-	-	-	2	8	-	-	2	-	-	8	-	6	-	-	-	72	0,57	74	26	-	
	413	12	46	6	-	-	4	6	-	-	-	-	2	14	-	10	-	-	-	60	0,45	64	34	-	
	414	6	56	6	-	-	4	2	-	-	-	-	2	18	-	4	2	-	-	76	0,44	68	30	-	
	Mi																								
Sud de Ndaba (Miltou)	341	8	72	2	-	-	10	4	-	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	72	1,20	82	18	-	
	342	6	44	4	-	-	26	6	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	60	0,80	54	46	-	
	343	4	55	3	-	2	19	2	1	3	1	-	1	1	-	7	-	-	1	84	0,77	62	36	-	
	T																								
Koubo Abou Gara SE d'Am Timan (Djouna)	61	6	26	8	-	-	24	8	-	2	8	-	2	4	-	12	-	-	-	44	0,30	40	58	-	
	63	16	28	6	-	-	14	8	-	-	6	-	2	6	-	14	-	-	-	40	0,32	50	48	-	
	65	-	22	4	-	-	20	10	-	2	8	-	-	10	-	20	-	-	-	48	0,29	26	70	-	4altérés
	G																								
Sud de Mahoua (Guéra)	451	-	64	-	-	-	-	-	-	-	8	-	6	18	-	4	-	-	-	60	0,43	64	30	-	
	452	2	52	2	-	-	2	2	-	-	10	-	8	18	-	4	-	-	-	72	0,33	56	36	-	
	453	2	40	2	-	-	2	-	-	-	8	-	14	14	-	18	-	-	-	82	0,50	44	42	-	
	A																								
Nord d'Am Dam (Abéché)	2081	2	74	6	-	-	2	2	-	-	-	-	6	-	-	8	-	-	-	72	1,37	82	18	-	
	2083	6	68	4	-	-	-	4	-	-	-	-	14	-	-	4	-	-	-	80	1,23	78	22	-	

TABLEAU 42

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperesthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	2	3	
Lac Iro (Lac Iro)	T 101	12	38		–	–	14	2	–	2	–	18	–	4	–	6	4	–	–	48	0,36	50	32	–	
	103	10	52	2	–	–	20	4	–	–	–	–	–	–	–	10	2	–	–	60	0,30	64	36	–	
Doudeï (Djouna)	T 53	8	14		–	–	10	10	2	–	8	–	8	10	–	30	–	–	–	68	0,25	22	70	–	
Zakouma (Lac Iro)	T 71	4	18	10	–	–	24	8	–	–	4	–	6	18	–	6	–	–	–	84	0,42	32	60	–	
Près de Mak (Guéra)	G 332	–	38	–	–	–	–	4	–	4	–	–	38	6	–	10	–	–	–	72	1,00	38	24	–	
Fort-Lamy (Fort-Lamy)	T 512	16	24	8	–	–	8	6	–	–	–	–	4	16	–	18	–	–	–	52	0,79	48	48	–	
	515	16	8	2	–	–	8	14	–	4	2	–	6	14	–	24	2	–	–	68	0,40	26	66	2	
Al Amadji (Fort-Lamy)	EA 31	8	22	10	–	–	10	12	–	–	–	–	6	20	–	12	–	–	–	56	0,40	40	54	–	
Dabkaraye (Fort-Lamy)	D 201	6	46	4	–	–	2	8	–	–	–	–	6	16	–	12	–	–	–	64	0,67	56	38	–	
	203	8	52	6	–	–	4	2	–	–	2	–	2	16	–	8	–	–	–	56	0,42	66	32	–	
	71	14	36	12	–	–	2	2	2	–	2	–	4	10	–	14	–	–	–	68	0,73	62	32	–	2corindons
Près de Yao (Bokoro)	BO 151	8	30	2			4	10			2		8	16	–	16				76	0,21	40	48	–	4diopsides
	153	12	38				4	18		2	2		2	14	–	8				76	0,17	50	48	–	
Lac Fitri (Bokoro)	180	13	29	3	–	3	4	4	–	3	1	–	8	26	–	6	–	–	–	68	0,32	45	47	–	
	181	14	34	2			2	10			2		4	24	–	8	–	–	–	76	0,26	50	46	–	
	183	–	40	2	–	–	–	8	–	2	2	–	2	26	–	18	–	–	–	72	0,24	42	56	–	
Lac Fitri (Bokoro)	191	–	20	6	–	4	4	8	–	–	4	–	38	20	–	–	–	–	–	32	0,23	26	36	–	
	193	6	22	–	–	4	4	2	–	–	–	–	38	12	–	12	4	–	–	36	0,18	28	34	–	

TABLEAU 42 (suite)

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hyperesthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	2	3	
Lac Fitri. Près de Wagna (Bokoro)	BO 841	8	42	2	–	2	2	8	–	2	6	–	4	18	–	6	–	–	–	96	0,18	52	44	–	
	843	4	36	–	–	–	–	16	–	–	–	–	8	32	–	4	–	–	–	76	0,26	40	52	–	
Mao (Région de Mao)	Mao 151	22	58	6	–	–	–	2	–	–	–	–	2	6	–	4	–	–	–	48	0,83	86	12		
	352	18	54	14	–	–	2	–	–	–	–	–	2	6	–	4	–	–	–	64	0,18	86	12		
Largeau (B.E.T.) entre Amoul et Ouaré	L 53	3	10	3			1	1				4	1	2	–		4	1		Très peu de minéraux					
Kirdimi (B.E.T.)	112	12	42	6	–	–	10	–	–	–	–	–	2	10	–	6	12			80	<0,1	60	26	12	
Ain Galaka (B.E.T.)	151		1	2	très peu de minéraux								2			1	2								
Largeau (B.E.T.)	1191	6	26	10	–	–	8	–	–	–	2	2	6	14	–	12	12	–	2	86	0,1	42	36	12	

SERIE LACUSTRE ACTUELLE

TABLEAU 43

Examen granulométrique des sables et coloration des échantillons

Origine	N°	Prof. en cm	Hét.	Qd Phi	Ecart	Méd.	Coloration
	I						
Iriri (Ngouri)	11	0-20	0,70	0,87	0,17	0,140	10 YR 4/1
	13	125-150	0,48	0,50	0,02	0,160	10 YR 5/1
	Bol						
Bol (Bol)	11	0-20	Fraction sableuse peu importante				10 YR 7/1 avec plaquettes 5 Y 4/1
	13	300-325					10 YR 5,5/1 avec amas blancs calc.
Bol (Bol)	2891	0-20	1,00	1,35	0,35	0,186	10 YR 6/1
	2892	50	0,43	0,50	0,07	0,079	10 YR 5,5/1
	2893	100	Fraction sableuse peu importante				id°

Examen morphoscopique des sables

TABLEAU 44

Origine	N°	Prof. en cm	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	I								
Iriri (Ngouri)	11	0-20	-	28	56	4	-	12	0,400
	13	125-150	2	2	41	-	5	50	0,608
	Bol								
Bol (Bol)	11	0-20	-	4	46	6	6	38	0,580
	13	300-325	-	44	28	16	-	12	0,392
Bol (Bol)	2891	0-20	-	11	33	-	6	50	0,602
	2892	50	3	15	45	-	8	29	0,506
	2893	100	4	24	56	-	8	8	0,400

TABLEAU 45

Minéraux lourds

Origine	N°échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements 1	2	3
	I																							
Iriri (Ngouri)	11	30	34	6	-	-	-	-	-	-	4	-	2	18	-	6	-	-	-	80	0,11	70	28	
	13	11	72	-	-	-	1	-	-	1	-	-	2	11	-	2	-	-	-	88	0,11	83	15	
	Bol																							
Bol (Bol)	2891	30	52	2	-	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	2	-	-	-	72	0,19	84	16	
	2892	24	58	2	-	-	2	2	-	-	-	-	4	4	-	4	-	-	-	56	0,25	84	12	

TABLEAU 48

Minéraux lourds

Origine	N° échantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements: 1	2	3
CORDON SUD																								
	T																							
Yagoua (Yagoua)	471	8	32	10	2		12	14		8	2				–	8			4	52:0,30		50	46	–
	473	12	22	12	4		8	10	4	12				4	–	10			2	68:0,30		46	52	–
	475	9	35	9	–		17	10		9				3	–	2			6	52:0,20		53	41	–
	F																							
N de Massénya (Massénya)	291	12	16	8			26	6		10				10	–	2			10	48:0,85		36	54	–
	293	6	18	14			24	24		2	10				–				2	52:0,85		38	60	–
	295	6	8	2			24	44		10				12	–	2			2	60:0,90		16	92	–
Arboutchatak (Bokoro)	Bo																							
	472	2	4	16			2	46		4	2			24	–					44:3,85		22	78	–
	474	8	2	16		4	8	44		4				12	–	2				60:3,55		26	74	–
N de Géria (Bokoro)	661	4	2	10		4	4	6		2	40			24	–	4				60:3,85		16	84	–
	663			12		4		20		2	32		6	24	–					60:9,60		12	82	–
	Mo																							
N E de Ngama (Molfi)	31		6	3			2	14		4	3		40	20		5			3	28:2,30		9	48	–
	33	2	9	9			6	5		5	4		39	18		2			1	48:3,10		20	40	
CORDON NORD																								
	Da																							
N O de Dabkaraye (Fort Lamy)	51	23	38	2	1	1	1	2		1			2	23		5			1	44:0,30		63	34	–
	54	10	56	4				4					2	8		16				60:0,20		70	28	–

TABLEAU 15

Examen morphoscopique des sables

Origine	N°	Prof. en cm.	A %	Sa %	Ar %	Ov %	Sp_1 %	Sp_2 %	IU
	T								
N.O. de Gounou Gaya	341	0–25	4	80	14	–	2		0,232
(Fianga)	344	130–150	18	54	26	–	–	2	0,228
idº	361	0–20							
	365	300–330	10	64	24	–	2	–	0,240
	Mi								
Près de Gadang Gougouri	571	0–20	12	64	12	4	8		0,272
(Miltou)	573	100–120	12	76	6	–	6		0,224
Entre Djana et Laïri	201	0–20	17	71	5	–	5	2	0,218
(Miltou)	203	140	17	73	–	–	5	5	0,226
	My								
Près de Dongoro	151	0–20	16	66	12	–	2	4	0,228
(Massénya)	153	70–90	12	80	8	–	–	–	0,192
	F								
17 km de Dourbali vers	121	0–20	12	72	16	–	–	–	0,208
Bougoumène (Mogroum)	123	80–100	10	78	2	–	6	4	0,244
Abou-Garga	321	0–15	22	46	26	–	6	–	0,244
(Massénya)	323	60–80	6	78	10	–	6	–	0,244
	Bk								
Bokoyo (Sud-Est Fort-Lamy)	241	0–20	7	78	7	–	6	2	0,248
	243	70–90	6	76	5	–	5	8	0,276
(Mogroum)	245	220–240	9	79	2	–	7	3	0,246
	F								
Près d'Am Tanabo	31	0–20	14	62	14	–	10	–	0,260
(Mogroum)	33	80–100	18	49	25	–	5	3	0,262
	BO								
Sud de Bokoro	901	0–20	24	63	10	–	3	–	0,190
(Bokoro)	903	120–140	12	80	6	–	–	2	0,200
	904	200–220	27	63	7	–	1	2	0,178
Sud du Lac Fitri	382	40–60	14	78	6	–	2	–	0,196
(Bokoro)	384	200–220	13	77	7	–	2	1	0,206

TABLEAU 16

Minéraux lourds

Origine	Nºéchantillon	Tourmaline	Zircon	Rutile	Brookite	Sphène	Staurotide	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Grenat	Amphibole: Trémolite	Amphibole: Hornblende	Epidote verte	Epidote brune	Zoïsite	Augite	Hypersthène	Biotite	Opaques %	Teneur pondérale %	Groupements: 1	2	3	
	T																								
Nord-Ouest Gounou-Gaya	341	20	20	4	–	–	12	16	–	–	–	–	–	14	–	14	–	–	–	56	0,25	44	56	–	
(Fianga)	344	24	34	4	–	–	10	10	–	–	–	–	–	10	–	8	–	–	–	68	0,25	62	38	–	
	361	10	42	10	–	–	8	12	–	–	–	–	–	8	–	10	–	–	–	48	0,75	62	38	–	
	365	12	36	10	–	–	14	12	–	–	–	–	–	8	–	8	–	–	–	72	0,35	58	42	–	
	Mi																								
Près Gadang Gougouri	571	10	8	8	2	–	22	26	–	14	–	–	–	2	–	4	–	–	4	44	0,60	26	70	–	
(Miltou)	573	22	6	10	–	–	20	14	–	14	–	–	–	2	–	12	–	–	–	52	0,40	38	62	–	
Entre Djana et Laïri	201	14	30	12	–	–	24	6	–	–	–	–	2	–	–	12	–	–	–	56	0,50	56	42	–	
(Miltou)	203	12	28	4	–	–	30	12	–	10	–	–	–	4	–	–	–	–	–	48	0,55	44	56	–	
	My																								
Près de Dongoro	151	5	44	7	–	1	11	10	4	8	1	–	–	1	–	7	–	–	1	60	0,55	56	42	–	
(Massénya)	153	6	39	7	–	2	20	6	2	4	–	–	1	8	–	5	–	–	–	64	0,70	52	47	–	
	F																								
17 km Dourbali vers	121	14	16	2	–	–	20	16	–	8	4	–	6	10	–	–	–	–	4	52	0,60	32	58	–	
Bougoumène (Mogroum)	123	10	10	2	8	–	28	20	2	2	–	–	8	10	–	–	–	–	–	60	0,65	22	70	–	
Abou-Garga (Massénya)	321	12	14	4	–	–	28	20	–	10	–	–	–	4	–	2	–	–	6	64	0,55	30	64	–	
	323	10	10	4	–	–	32	20	6	6	2	–	2	4	–	2	–	–	2	72	0,60	24	72	–	
	Bk																								
Bokoyo Sud-Est Fort-Lamy	241	16	10	7	–	–	23	17	1	7	1	–	3	12	–	3	–	–	–	68	0,30	33	64	–	
(Mogroum)	243	9	16	14	–	–	19	13	–	8	1	–	3	13	–	3	–	–	1	60	0,45	39	58	–	
	245	10	20	11	–	3	18	14	–	5	1	–	3	7	–	2	–	–	4	60	0,25	41	50	–	2 muscovites
Près Am Tanabo	F																								
(Mogroum)	31	8	8	4	–	–	42	16	8	4	4	–	–	6	–	–	–	–	–	68	0,45	20	80	–	
	33	2	14	–	–	–	40	12	–	6	2	–	2	2	–	16	–	–	4	56	0,40	16	82	–	
	BO																								
Bokoro Sud (Bokoro)	901	10	22	18	–	2	16	14	–	8	2	–	–	4	–	4	–	–	–	60	0,70	52	48	–	
	903	14	26	18	–	–	10	16	–	4	–	–	4	4	–	4	–	–	–	54	0,85	58	38	–	
	904	10	30	20	–	2	8	10	4	2	2	–	2	8	–	2	–	–	–	68	0,80	60	38	–	
Sud du Lac Fitri (Bokoro)	382	7	6	24	–	–	–	36	–	10	2	–	–	8	–	7	–	–	–	55	1,98	37	63	–	
	384	6	8	8	4	2	–	42	–	12	–	–	4	12	–	–	–	–	2	56	1,77	22	72	–	

A N N E X E II

P E D O L O G I E

SOLS DES FORMATIONS CONTINENTALES TERMINALES

TABLEAU 49

Analyses totales (méthode triacide)

		Cuirasses anciennes			Argilite épigénisée		Toposéquence cuirasse		cuirasse récente
		sur grès		sur argilite			ancienne	récente	
Echantillon		T 220	T 240	I 351	I 352	T 260	T 182	T 184	T 230
Origine		Bessao (Bafbokoum)	Begangber - Bessao (Moundou)	O. de Boum Kébir (Lac Iro)		Bégangber - Bessao (Moundou)	Près de Boro (Moundou)		Bégangber - Bessao (Moundou)
Humidité	%	1,27	0,73	0,91	1,18	1,50	1,04	1,16	1,78
Perte au feu	%	7,52	5,95	9,30	11,50	11,26	11,67	10,29	9,43
Résidu quarts	%	41,25	50,82	2,32	4,67	9,38	2,68	17,39	17,53
$Si\ O^2$ silicates	%	9,69	7,37	22,51	33,48	29,73	33,91	14,44	15,73
$Al^2\ O^3$	%	11,21	7,65	19,88	32,75	26,00	31,47	18,22	15,42
$Fe^2\ O^3$	%	28,56	27,52	46,20	17,86	20,76	19,48	37,40	38,28
$Ti\ O^2$	%	0,70	0,40	1,15	0,70	1,05	1,30	0,80	0,70
Ca O	%	0,14	0,14	traces	0,12	0,14	0,37	0,16	0,12
Mg O	%	traces	tracee	traces	traces	traces	traces	traces	traces
$K^2\ O$	%	0,13	0,11	0,09	0,17	0,16	0,42	0,11	0,15
$Na^2\ O$	%	0,24	0,20	0,20	0,35	0,35	0,64	0,27	0,24
$P^2\ O^5$	%	0,50	0,09				0,18		0,60
$Si\ O^2/R^2\ O^3$		0,55	0,49	0,77	1,28	1,28	1,31	0,58	0,67
$Si\ O^2/Al^2\ O^3$		1,46	1,63	1,92	1,73	1,94	1,83	1,34	1,73
$Al^2\ O^3$ libre	%	3,07	1,40	0,77		1,03	2,68	5,96	2,07

SOLS DES FORMATIONS CONTINENTALES TERMINALES

TABLEAU 50

Sols rouges

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elém. / Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Zr	Ni	Co	Cr	Sr	Ba	Li	Rb
	T															
Kyabé	21	800	10	< 10	< 3	30	20	60	> 1000	30	< 10	100	< 30	1000	10	< 100
(Fort-Archambault)	23	800	10	< 10	< 3	50	20	60	> 1000	30	< 10	100	< 30	800	10	< 100
	25	750	30	< 10	3	95	30	30	> 1000	75	< 10	190	< 30	950	30	< 100
Douyou (Koumra)	141	600	15	< 10	< 3	60	15	< 30	> 1000	50	< 10	250	< 20	1000	8	< 100
	142	600	30	< 10	3	100	20	< 30	> 1000	60	< 10	250	< 20	1000	20	< 100
Bégangber	191	700	15	< 10	< 3	80	15	< 30	> 1000	50	< 10	200	30	1000	8	< 100
(Moundou)	192	600	20	< 10	< 3	80	10	< 30	> 1000	30	< 10	200	< 20	300	3	< 100
	193	600	20	< 10	< 3	100	20	< 30	> 1000	60	< 10	200	< 20	500	5	< 100
N. de Krim Krim	321	800	30	< 10	< 3	100	20	< 30	> 1000	30	3	200	< 20	1000	15	< 200
(Fianga)	322	300	30	10	3	200	30	< 30	> 1000	30		200	30	600	15	< 200
	323	500	30	10	3	250	60	< 30	> 1000	60	10	250	50	800	20	< 200
	D															
Déli (Tapol)	51	500	10	< 10	< 3	100	20	145	> 1000	40	10	100	10	100	10	< 100
	52	300	10	< 10	< 3	100	20	145	980	50	20	150	10	100	10	< 100
	53	450	30	< 10	< 3	190	30	95	950	95	95	280	10	100	30	< 100
	T															
N.O. Gounou Gaya	351	200	10	< 10	< 3	20	3	< 30	1000	5	3	150	20	150	10	< 200
(Fianga)	352	150	10	< 10	< 3	20	3	< 30	1000	8	3	150	< 20	200	10	< 200
	353	150	10	< 10	< 3	20	3	< 30	1000	5	< 3	150	< 20	300	10	< 200
	Ma															
Mangalmé	31	800	20	< 10	< 3	50	20	300	> 1000	80	30	200	30	300	30	300
(Mangalmé)	32	800	30	< 10	< 3	100	30	200	> 1000	80	100	200	30	300	30	300
	33	800	30	< 10	< 3	100	30	200	> 1000	80	100	200	30	300	30	300

SOLS DES FORMATIONS ANCIENNES REMANIEES

TABLEAU 51

Sols beiges (S. du 13^{e} parallèle)

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elém. / Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Zr	Ni	Co	Cr	Sr	Ba	Li	Rb
	T															
Boum Kébir	111	300	10	< 10	< 3	30	10	100	> 1000	30	< 10	100	30	1000	30	< 100
(Lac Iro)	112	300	10	< 10	< 3	30	10	100	> 1000	30	< 10	100	30	800	30	< 100
	113	300	30	< 10	3	50	20	80	> 1000	30	< 10	150	30	800	30	< 100
N.O. de Gounou Gaya	341	200	8	< 10	< 10	20	3	< 30	> 1000	3	< 3	150	20	250	10	< 200
(Fianga)	342	100	10	< 10	< 10	20	3	< 30	> 1000	3	< 3	150	20	250	10	< 200
	343	150	10	< 10	< 10	30	3	< 30	> 1000	8	3	200	30	250	20	< 200
Yagoua	471	150	15	< 10	< 10	15	3	< 30	> 1000	2	< 3	100	120	300	10	200
(Yagoua)	472	150	15	< 10	< 10	20	3	< 30	1000	8	80	150	150	400	10	200
Cameroun	473	150	15	< 10	< 10	20	5	< 30	1000	10	150	150	150	300	20	200

SOLS DES FORMATIONS ANCIENNES REMANIEES

TABLEAU 52

Sols bruns et brun-rouge (N. du 13° parallèle)

Analyses totales (méthode triacide)

Fraction colloïdale < 2 µ

Origine	Ifénat (Ati)	Massakory (Fort-Lamy)	N. Arada (Oum Chalouba)	S.O. Oum Hadjer (Oum Hadjer)
Echantillon	T 14	Fl 333 (1)	A 882	A 122
Ca %	0,90	1,86	1,44	0,70
Mg %	0,35	1,82	0,72	0,60
K %	1,35	1,38	0,96	0,88
Na %	1,20	1,22	1,02	1,02
Perte au feu %	12,56	11,01	13,15	12,50
Résidu %	0,85	2,86	1,48	1,45
$Si\ O^2$ %	43,30	46,96	41,24	44,10
$Al^2\ O^3$ %	32,00	22,40	26,40	27,40
$Fe^2\ O^3$ %	5,00	10,40	8,40	8,80
$Ti\ O^2$ %	0,90	0,88	0,90	1,00
Mn O %	-	-	-	-
$\frac{Si\ O^2}{Al^2\ O^3}$	2,29	3,55	2,64	2,72
$\frac{Si\ O^2}{R^2\ O^3}$	2,08	2,73	2,20	2,26

Analyses rayons X - Composition

Echantillon	Minéraux argileux %			Hydroxydes %
	Kaolinite	Illite	montmorillonite	goethite
T 14	60 à 65	20	10	2,5
R 63)	prélevés dans la même région que T. 14. Identiques à celui-ci			plus ou moins abondante
R 263 (				
R 524)				
R 693 (				
A 882	40 à 50	10	30 à 40	-
A 122	50 à 60	5 à 10	30 à 35	-
Bol 26)	10 à 15	10 à 15	60 à 70	-
Tchingam (	20	5 à 10	60 à 70	
FL 333	15 à 20	10	60	

(1) - sol brun fossile enterré sous des alluvions récentes dans le cours du Bahr el Ghazal.

SOLS DES FORMATIONS ANCIENNES REMANIEES

TABLEAU 53

Sols bruns et brun-rouge (N. du 13° parallèle)

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elém. / Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Zr	Ni	Co	Cr	Sr	Ba	Li	Rb
	T															
	11	200	15	< 10	< 10	15	10	< 30	200	5	< 10	80	200	1000	20	300
	12	180	15	< 10	< 10	18	3	< 30	200	3	< 10	80	200	1000	20	300
	13	180	15	< 10	< 10	20	3	< 30	200	3	< 10	80	200	1000	20	300
	161	125	< 10	< 10	< 10	25	7		35	< 3	40					
	162	110	< 10	< 10	< 10	20	30		60	< 3	40					
Ranch de	301	110	< 10	< 10	< 10	< 10	20		< 1	< 3	25					
	302	65	< 10	< 10	< 10	< 10	< 3		< 1	< 3	15					
	391	70	< 10	< 10	< 10	< 10	< 3		< 1	< 3	7					
l'Ouadi Rimé	392	80	< 10	< 10	< 10	20	< 3		< 1	< 3	10					
(Ati)																
	471	60	< 10	< 10	< 10	< 10	< 3		< 1	< 3	7					
	472	60	< 10	< 10	< 10	< 10	< 3		< 1	< 3	< 3					
	591	110	< 10	< 10	< 10	< 10	6		10	< 3	7					
	592	80	10	< 10	< 10	< 10	< 3		10	< 3	5					
	721	100	15	< 10	< 10	< 10	30		6	< 3	4					
	722	105	< 10	< 10	< 10	< 10	< 3		9	< 3	6					
	911	80	< 10	< 10	< 10	< 10	< 3		4	< 3	9					
	912	55	< 10	< 10	< 10	20	30		20	< 3	15					

SOLS DE LA SERIE SABLEUSE RECENTE

TABLEAU 54

Sols beiges

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elém. / Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Zr	Ni	Co	Cr	Sr	Ba	Li	Rb
	T															
Charati	31	180	15	< 10	< 10	20	3	< 30	200	5	< 10	100	200	1000	20	300
(Lac Iro)	32	200	20	< 10	< 10	25	3	< 30	300	3	< 10	100	200	1000	20	300
Koubo Abou Gara	41	200	12	< 10	< 10	25	3	< 30	200	3	< 10	100	200	1000	20	200
(Djouna)	42	200	15	< 10	< 10	25	3	< 30	200	5	< 10	100	200	1000	20	200
	43	150	15	< 10	< 10	25	3	< 30	200	5	< 10	100	200	1000	20	200
Bilé près d'Eré	391	300	20	< 10	< 3	100	30	< 30	> 1000	30	30	200	300	> 1000	15	1000
(Fianga)	392	700	30	< 10	< 3	100	30	< 30	> 1000	20	20	200	300	> 1000	20	1000
Daloué	421	1000	30	< 10	< 3	100	30	300	> 1000	50	30	200	30	1000	30	200
(Fianga)	422	300	30	< 10	< 3	100	30	200	> 1000	30	10	200	30	300	30	200

SOLS DE LA SERIE ALLUVIALE SUBACTUELLE A ACTUELLE

TABLEAU 55

Analyses totales (méthode triacide)

Origine		FORT - LAMY (Fort-Lamy)				O. d'Oum Hadjer (O.Hadjer)	Eré (Fianga)	
Echantillon		501	502	503	504	372 *	401	403
Ca O	%	0,16	0,39	2,84	0,63	1,96	0,40	0,32
Mg O	%	0,08	0,23	0,58	0,42	1,50	0,33	trace
K^2 O	%	traces	0,06	0,12	0,15	1,42	0,12	0,09
Na^2 O	%	0,28	0,35	0,47	0,59	1,68	0,94	0,88
Perte au feu	%	1,05	2,20	4,40	2,85	9,40	12,30	4,40
Résidu	%	92,70	83,70	71,85	74,55	12,80	39,50	66,30
SiO^2	%	3,00	7,05	10,85	11,20	39,80	19,40	13,10
$Al^2 O^3$	%	1,65	4,35	6,10	6,90	19,90	14,35	8,45
$Fe^2 O^3$	%	1,05	2,00	2,70	2,80	9,60	12,10	5,50
$Ti O^2$	%	0,20	0,15	0,20	0,25	1,10	0,75	1,05
$Si O^2/Al^2 O^3$		3,13	2,72	3,00	2,74	3,38	2,30	2,61
$Si O^2/R^2 O^3$		2,18	2,09	2,34	2,16	2,49	1,49	1,84
$Fe^2 O^3$ libre	%	0,51	0,96	1,23	1,28		2,83	3,82

* Fraction colloïdale inférieure à 2 µ

SOLS DE LA SERIE ALLUVIALE SUBACTUELLE A ACTUELLE

TABLEAU 56

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elém. Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Zr	Ni	Co	Cr	Sr	Ba	Li	Rb
	T															
Eré (Fianga)	401	300	40	10	3	250	80	< 30	> 1000	80	10	250	300	> 1000	50	1000
	402	400	30	10	6	200	60	< 30	> 1000	80	20	250	300	1000	80	1000
Fort-Lamy (Fort-Lamy)	491	950	45	< 10	3	190	45	95	950	95	30	280	300	950	100	270
	492	950	45	< 10	3	250	45	95	950	95	95	280	280	950	95	270
	493	950	45	< 10	3	250	30	190	950	95	30	280	280	950	80	280
	501	1000	40	< 10	< 3	80	20	100	1000	20	10	100	300	1000	30	300
	502	800	50	< 10	5	100	30	100	1000	50	20	190	300	950	50	300
	503	750	45	< 10	3	250	30	95	800	50	20	300	280	950	50	280
	504	750	50	< 10	3	190	30	145	> 1000	30	10	190	290	950	50	280

SOLS FORMES SUR LA SERIE FLUVIO-LACUSTRE ARGILO-SABLEUSE A NODULES CALCAIRES

TABLEAU 57

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elem. Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Zr	Ni	Co	Cr	Sr	Ba	Li	Rb
	T															
Koubo Abou Gara (Djouna)	61	750	30	< 10	3	90	30	< 30	> 1000	75	20	185	185	1400	90	300
	62	750	30	< 10	3	90	30	< 30	> 1000	75	20	185	185	1400	90	300
	63	750	30	< 10	3	95	30	< 30	> 1000	75	20	190	190	1400	90	300
Eré (Fianga)	401	300	40	10	3	250	80	< 30	> 1000	80	10	250	300	1000	50	1000
	402	400	30	10	6	200	60	< 30	> 1000	80	20	250	300	1000	80	1000
	403	800	20	< 10	3	200	30	< 30	> 1000	60	25	200	300	1000	30	800
	411	900	45	< 10	< 3	180	45	90	900	90	90	270	90	900	90	270
	412	950	45	< 10	< 3	190	45	90	900	90	95	280	90	950	90	270

T 401 - 402 couverture alluviale recouvrant les argiles à nodules calcaires T 403

SOLS FORMES SUR LA SERIE LACUSTRE RECENTE

TABLEAU 58

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elem. / Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Zr	Ni	Co	Cr	Sr	Ba	Li	Rb
	T															
Doudeï (Djouna)	51	350	20	< 10	10	25	25	40	> 1000	25	15	130	170	> 1000	25	200
	52	250	20	< 10	10	25	25	40	> 1000	25	10	85	130	> 1000	25	200
	53	350	25	< 10	20	25	25	40	> 1000	25	10	85	170	> 1000	25	200
	54	350	85	< 10	25	25	25	40	> 1000	25	20	130	170	> 1000	25	200
Fort-Lamy	481	350	25	< 10	10	25	25	40	> 1000	25	20	170	130	860	25	200
(Fort-Lamy)	482	350	85	< 10	20	25	25	50	> 1000	25	20	250	130	850	25	200

Sols argileux de dépression à inondation temporaire

	T															
Lac Iro (Lac Iro)	401	450	20	< 10	3	90	30	45	> 1000	75	15	180	90	900	70	200
	102	550	30	< 10	3	90	30	40	> 1000	75	20	180	90	900	70	< 100
	103	750	30	< 10	3	95	30	30	> 1000	75	20	190	95	1100	75	< 100
Sud de Fort-Lamy	511	300	30	< 10	< 10	30	30	40	> 1000	30	15	150	150	900	20	250
(Fort-Lamy)	512	400	30	< 10	< 10	30	30	40	> 1000	30	15	150	200	900	20	250
	513	300	30	< 10	< 10	30	30	40	> 1000	30	10	150	200	900	20	250

Sols argileux de bas fonds subissant une forte inondation

SOLS DES OUADIS DU KANEM

TABLEAU 59

Origine	H 125 Ouadi au N.E. de Ngarangou (Ngouri)		H 211 Ouadi au N.E. de Chédra (Moussoro)		H 120 Ouadi de Koona (Bol)					Khaya (Bol)
Echantillon	1251	1252	1253	2111	2112	1200	1201	1202	1203	1204	Natron
Profondeur cm	0-1	1-20	40	0-20	90	0-2	2-20	20-45	70	230	
pH	8,6	8,3	8	9,4	9,7		10,2	10	10	9,6	
Extrait saturation : sols solubles.											
Ca me %	4,30	1,00	0,40	0,25	tr.	tr.	tr.	0,40	0,10	0,60	6,00
Mg me %	15,50	1,60	1,10	0,45	tr.	2,90	0,95	1,95	0,85	3,80	12,50
K me %	30,15	0,35	0,25	0,25	tr.	11,55	2,70	0,20	0,30	0,20	7,70
Na me %	191,70	1,20	0,85	8,00	2,85	260,90	82,70	13,25	22,00	16,30	1304,30
CO_3 me %	29,40	1,00	1,00			66,00	163,00		5,70	3,10	1252,00
SO_4 me %	183,20	2,50	1,30			146,00	33,20		12,00	15,80	-
Cl me %	8,30	tr	tr			35,00	30,20		4,05	3,30	120,00
Extrait saturation : C à 25°.											
	100	4,85	3,65	10,40	1,00	126,40	76,20	15,10	19,30	17,80	

SOLS DES OUADIS DU KANEM

TABLEAU 60

Analyses totales (méthode triacide)

Origine	Ouadi de Koona près de Madirom (Bol)			Terrasse Moussoro piste de Mao (Ngouri)		Ouadi Roumbou (Mao)
Echantillon	H 1201	H 1202	H 1204	H 2221	H 2222	Mao 151 (1)
Profondeur cm	2-20	20-45	70	0-20	40-60	0-20
Perte au feu %	20,03	18,72	9,78	7,57	7,27	10,42
Quartz %	17,91	22,30	28,18	38,95	36,80	53,30
$Si\ 0^2$ %	27,12	24,49	32,26	28,75	30,85	18,48
$Al^2\ 0^3$ %	5,05	8,55	15,35	14,70	15,5	4,80
$Fe^2\ 0^3$ %	2,80	3,95	5,75	4,30	4,35	5,00
$Ti\ 0^2$ %	0,35	0,35	0,35	0,45	0,4	0,30
$P^2\ 0^5$ %	1	1,5	1	0,50	0,48	-
$Mn\ 0^2$ %	0,11	0,06	0,01	0,01	0,01	-
Ca 0 %	12	14,3	1,44	1,93	1,75	4,72
Mg 0 %	5,1	1,2	1,2	0,34	0,38	1,16
$K^2\ 0$ %	1,38	0,81	1	0,63	0,66	0,46
$Na^2\ 0$ %	6,7	2,38	2,12	0,83	1,65	0,68
$Si\ 0^2/Al^2 0^3$	9,09	4,9	3,6	3,33	3,4	6,53
$Si\ 0^2/R^2 0^3$	6,71	3,76	2,84	2,82	2,9	3,88

(1) - Fraction colloïdale < 2 µ

SOLS DE LA DEPRESSION DU BORKOU

TABLEAU 61

Sols solubles de sols salés

Origine	S. Kirdimi			N'Gour Ma	O. Yen	Amoul	Elleboye	Largeau	Acacourca
Echantillon	121	122	123	271	131	21	281	81	261
Profondeur en cm	0-20	70-80	150-170	0-20	0-30	0-20	0-20	0-20	0-20
Ca me %	0,50	0,25	0,25	0,10	0,50	< 0,10	0,50	2,00	1,00
Mg me %	1,25	0,50	< 0,20	1,90	1,00	2,50	0,50	0,50	1,00
K me %	2,80	0,45	< 0,10	0,10	3,40	0,20	2,60	1,40	0,65
Na me %	10,30	1,10	0,10	7,40	78,30	14,10	11,20	8,50	27,40
TOTAL	14,85	2,30	0,35	9,5	83,20	16,80	14,80	12,40	30,05
CO^3 me %				4,25	2,50	traces	10,00	traces	8,75
$CO^3\ H$ me %				4,40	3,40	4,40	1,90	4,50	6,40
SO^4 me %				traces	29,20	9,00	1,10	3,40	5,60
Cl me %				1,30	32,60	0,60	0,60	1,90	5,60
NO^3 me %				0,90	15,30	1,90	1,90	1,15	1,40
TOTAL				10,85	83,00	15,90	15,50	10,95	27,75
Extrait de saturation - C à 25°	7,96	0,85	0,74	2,4	67,8	8,6	2,6	10,1	8,2

SOLS DE LA DEPRESSION DU BORKOU

TABLEAU 62

Exudation saline utilisée comme engrais (" Tilli ")

Echantillon		DIGRE	KIRDIMI	LARGEAU	AIN GALAKA
pH		10	8,6	6,3	8
CO^3 Ca	%	13	1,8	-	2
Mat. org. tot.	%	0,72	0,75	0,25	1,69
Carbone	%	0,42	0,44	0,15	0,98
Azote total	%	6,5	5,3	12,3	3,2
SELS SOLUBLES					
Ca me	%	0,1	2	60	2,4
Mg me	%	1	0,5	29	0,8
K me	%	5,3	2,2	1,70	1
Na me	%	217,4	62	54,35	29,6
TOTAL		223,8	66,7	145,05	33,8
CO^3 me	%	55	-	-	-
CO^3 H me	%	19,5	6,5	0,1	-
SO^4 me	%	60,6	20,8	48,6	-
Cl me	%	51	11	6	-
NO^3 me	%	50	32,6	89,2	-
TOTAL		236,1	70,9	142,9	
EXTRAIT DE SATURATION C à 25°		133	42,9	99,3	32
$P^2 O^5$ total	‰				0,46

SOLS FORMES SUR LA SERIE LACUSTRE ACTUELLE

TABLEAU 63

Analyses totales (méthode triacide)

Origine		MADIROM (Bol)			BOL-GUINI (Bol)		
Echantillon		H 1081	H 1082	H 1083	H 1321	H 1322	H 1323
Profondeur en cm		2-20	20-40	80-100	0-20	20-40	80
Perte au feu	%	17,41	19,6	14,62	18,49	18,08	17,42
Quartz	%	38,21	31,04	34,3	13,86	25,9	29,92
$Si O^2$	%	25,54	26,13	29,19	35,72	26,08	26,78
$Al^2 O^3$	%	8,4	8,9	12,75	15,85	8,35	11,45
$Fe^2 O^3$	%	4,55	4,85	5,7	6,5	4,60	4,40
$Ti O^2$	%	0,35	0,40	0,50	0,55	0,40	0,50
$P^2 O^5$	%	0,60	0,65	0,55	0,60	1,1	0,75
$Mn O^2$	%	0,01	0,02	0,01	0,03	-	0,01
Ca O	%	1,70	3,47	2,02	2,55	10,2	4,90
Mg O	%	0,06	0,20	0,90	1,03	1,60	0,70
$K^2 O$	%	0,59	0,59	0,76	0,86	0,76	0,68
$Na^2 O$	%	0,42	0,40	0,37	0,63	0,55	0,40
$Si O^2/Al^2 O^3$		5,18	5	3,88	3,83	5,29	3,98
$Si O^2/R^2 O^3$		3,86	3,72	3,04	3,05	3,95	3,21
$Fe^2 O^3$ libre	%	1,23	1,28	1,52	1,50	0,72	0,82

SOLS FORMES SUR LA SERIE LACUSTRE ACTUELLE

TABLEAU 64

Eléments traces en p.p.m.

Origine	Elém. / Echant.	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Ni	Co	Cr
	BB									
Polder	211	1%	< 10	< 10	< 10	60	10	30	10	25
de	212	4200	< 10	< 10	< 10	80	20	40	6	35
Bol Bérim	311	720	< 10	< 10	< 10	85	10	25	10	45
	312	860	< 10	< 10	< 10	120	15	50	< 3	65
(Bol)	321	700	< 10	< 10	< 10	90	15	35	15	55
	322	220	< 10	< 10	< 10	95	20	65	20	90
	BG									
	121	170	10	< 10	< 10	80	45	45	20	40
	122	90	10	< 10	< 10	50	35	45	15	25
	101	260	9	< 10	< 10	55	10	45	20	35
	102	190	8	< 10	< 10	60	25	50	20	40
Polder	351	170	15	< 10	15	90	30	45	< 3	80
	352	160	10	< 10	10	80	40	50	< 3	80
de	651	280	< 10	< 10	< 10	80	30	30	< 3	60
	652	135	10	< 10	10	65	110	55	< 3	55
	1371b	165	< 10	< 10	< 10	65	240	55	15	45
Bol Guini	1372b	175	< 10	< 10	< 10	80	55	50	15	80
	1981	790	< 10	< 10	< 10	75	15	45	20	70
	1982	380	< 10	< 10	< 10	80	20	40	15	60
	3241	395	20	< 10	< 10	80	20	35	10	60
(Bol)	3242	135	20	< 10	< 10	80	40	45	15	70
	5161	160	< 10	< 10	< 10	100	7	10	9	35
	5162	215	< 10	< 10	< 10	75	8	20	7	45

TABLEAU 65

Nodules calcaires

Eléments-traces en p.p.m.

Origine	ERE (Pianga)		ABOU DEÏA (Abou Deïa)	BAHR SALAMAT (Bahr Salamat) (Lac Iro)
Echantillon	T 38	T 38 '	AD	T 80
Mn	10000	3000	1000	300
Pb	< 3	10	32	< 3
Mo	< 3	< 3	< 3	< 3
Sn	10	10	10	10
V	300	300	200	200
Cu	< 3	< 3	< 3	< 3
Ni	30	30	20	10
Co	100	30	10	10
Cr	200	200	300	200
Sr	1000	1000	1000	1000
Ba	500	500	500	500
Li	20	10	20	20
Rb	150	100	100	100

A N N E X E III

M E T H O D E S A N A L Y T I Q U E S

Les analyses chimiques et physiques de sol ont été effectuées sur de la terre séchée à l'air et passée au tamis 2 mm après broyage modéré.

III - 1 - Sédimentologie

Les analyses suivantes ont été faites : granulométrie, morphoscopie et minéralogie des sables.

- granulométrie :

La fraction fine ($\leq$ 35 μ) est obtenue par sédimentation par la méthode dite de la pipette en bac Rivière soumis à une température constante (RIVIERE-MUNIER, 1948).

La fraction sableuse (35 μ à 2 mm) est tamisée à travers une colonne de tamis de norme A.F.N.O.R. dont les mailles varient en progression géométrique.

L'exploitation des résultats obtenus se fait par le calcul de divers indices après le report de ces résultats sous forme de courbes cumulatives, de fréquences (1) de probabilités (2). Les indices utilisés ont été les suivants :

- Médiane ou grossièreté du sédiment
- Qd Phi de KRUMBEIN (1938)
- Hétérométrie de CAILLEUX (1959)
- Indice d'évolution et de faciès de RIVIERE (1952)

Pour les roches sédimentaires (grès - arkoses), leur désagrégation a été effectuée en utilisant la méthode HENIN-PEDRO (1957) avant qu'elles ne subissent les analyses sédimentologiques classiques.

- morphoscopie des sables

Elle a été réalisée d'après la méthode préconisée par TRICART (1958), dans laquelle chaque catégorie de sables (anguleux, subanguleux, arrondis, ovoïdes, sphériques) est affectée d'un indice permettant le calcul rapide et simple de l'indice d'usure. L'observation des sables a été faite pour différents diamètres. C'est dans la fraction 0,8 - 0,7 mm que l'on observe le plus fort pourcentage de quartz les plus évolués. Ceux-ci sont encore très abondants à 0,5 mm.

---

(1) ALIMEN (1957)
(2) ROSFELDER (1961)

- minéralogie des sables

Elle a été effectuée suivant la méthode définie par DUPLAIX (1958). Une fraction globale comportant les minéraux lourds compris entre 0,5 et 0,05 mm a été seule étudiée.

Les minéraux lourds ont été classés secondairement en 3 groupements, de façon à mieux faire apparaître la nature des roches dont ils tirent leur origine :

- Groupement 1 : minéraux du cortège granitique
  (Tourmaline - Zircon - Rutile)
- Groupement 2 : minéraux du métamorphisme
  (Staurotide - Disthène - Andalousite - Sillimanite - Grenat - Epidote ...)
- Groupement 3 : minéraux du volcanisme
  (Augite - Diopside - Pigeonite - Aegyrine - Hypersthène)

Des minéraux tels que la biotite, l'amphibole (1) qui se retrouvent indifféremment dans le cortège granitique et les minéraux du métamorphisme n'ont, volontairement, pas été cités dans les groupements 1 et 2.

III - 2 - Pédologie

Les analyses faites ont été les suivantes :

- granulométrie effectuée par la méthode internationale modifiée par l'emploi de la pipette Robinson. 4 ou 5 classes de particules sont ainsi données en fonction du diamètre des particules.

argile	0-2 µ		
limon	2-20 µ	) limon grossier	20-50 µ
sable fin	20-200 µ	) sable fin	50-200 µ
sable grossier	200-2000 µ		

- coloration des échantillons de sol à l'état sec donnée suivant la notation de la "Munsell soil color charts".

---

(1) Cette dernière existe notamment en assez grande abondance dans le massif du Ouaddaï où elle entre dans la composition de granite à biotite et à amphibole, de grano-diorite.

- Calcaire total : dosage au calcimètre Bernard
- Carbone : méthode de ANNE (1945) et de WALKLEY-BLACK (1934)
- Azote total : méthode KJELDAHL
- Matière humique totale - Acide humique - Acide fulvique exprimés en carbone :

    - Extraction au pyrophosphate de Na
    - Dosage de la matière organique totale par la méthode de WALKLEY-BLACK
    - Séparation des acides humiques et fulviques par précipitation des premiers par SO_4H_2.
    - Dosage des acides humiques
    - Les acides fulviques sont obtenus par différence.

- Electrophorèse des acides humiques amenant la séparation des acides gris et brun en fonction de leur degré de polymérisation. Les électrophorèses ont été faites à l'aide d'un bloc d'alimentation Paris Labo, d'une cuve Jouan type C.N.R.S. et d'un densitomètre électronique (Phptovolt corporation - Paris Labo - modèle 525).

- Réaction : pH mesuré à l'aide de pH mètre (rapport $\frac{sol}{eau}$ et $\frac{sol}{K\ Cl\ N} = \frac{20}{50}$)

- Bases échangeables extraites à l'acétate de NH_4 normal et neutre. Les ions Ca et Mg ont été dosés par complexométrie, les ions K et Na par photométrie de flamme.

- Capacité d'échange obtenue par saturation du sol par une solution de chlorure de calcium. L'ion Ca fixé a été ensuite déplacé par une solution de nitrate de potassium et dosé dans le filtrat par complexométrie. Le chlore a été dosé par argentimétrie dans ce même filtrat. On obtient par différence des deux dosages le calcium ayant été réellement fixé par le complexe.

- Sels solubles obtenus de deux façons :

    - par lessivage d'une fraction connue de sol par de l'eau distillée jusqu'à disparition de l'ion SO_4 (les sels solubles sont ici principalement SO_4Na_2 - CO_3Na_2) puis dosage dans le filtrat des anions et cations.
    - par mesure conductimétrique à 25° au conductimètre Philips de l'extrait de saturation d'une pâte de sol portée au double de l'humidité équivalente(U.S. Salinity Laboratory Staff - 1954). Les normes américaines de classification des sols salés ont été

adoptées :

0-4 millimhos		sols non salés
4-8	-	sols peu à moyennement salés
8-15	-	sols salés
$\geqslant$ 15	-	sols très salés

Le dosage des anions et cations a été effectué sur l'extrait.

Pour les eaux, la conductivité a été faite à 25° directement sur l'échantillon prélevé.

- P_2O_5 assimilable : méthode Truog (1930)

- P_2O_5 total : dosage par le Phosphomolybdate d'ammonium ou au Colorimètre Technicon après attaque nitrique.

- éléments totaux : méthode triacide (acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique dans le rapport 2-3-5) qui donne après dosage les teneurs en bases, en silice des silicates, en quartz, en alumine, en fer, en titane ... et permet le calcul des rapports moléculaires $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ — $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$

- Fer libre : méthode de Deb (1950)

- Produits amorphes : Méthode Segalen exposée en 1966 lors d'un colloque de Pédologues.

Les produits amorphes sont obtenus par mise en contact de l'échantillon de sol avec alternativement une solution d'acide chlorhydrique (30') puis de soude chauffée 5' au bain-marie. L'opération est répétée pendant 4 à 8 h suivant les cas. Chacun des filtrats obtenus par centrifugation fait l'objet d'une analyse colorimétrique pour déterminer les valeurs de Si O_2, Al, Fe. Les résultats sont reportés sous la forme d'une courbe cumulative des teneurs en ces éléments en fonction du temps.

- Etude des colloïdes argileux : la fraction inférieure à 2 μ est obtenue par sédimentation après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée et dispersion à l'ammoniaque.

L'examen aux rayons X a été faite à l'aide d'un diffractomètre de la Compagnie Générale de Radiologie comprenant un générateur de rayons X et un spectro-goniomètre enregistreur. On opère soit sur la poudre, soit sur agrégat orienté ayant subi ou non des traitements chimiques ou thermiques (agrégat orienté d'argile Ca ou Na, agrégat orienté glycérolé, agrégat orienté chauffé à 500 °).

L'analyse thermique différentielle a été faite à l'aide d'un four à chauffage continu régularisé par un auto-transformateur à curseur (Rhéotor ADB) combiné à un enregistreur Méci.

- Dosage des oligo-éléments par spectrographie d'arc (spectrographe Hilger). On mélange 20 mg de sol calciné à 700° et 20 mg de graphite avec lesquels on constitue une électrode. Entre celle-ci (anode) et une cathode de graphite, on fait jaillir un arc anodique d'une intensité de 10 ampères pendant une minute.

On enregistre sur plaque photographique :

- dans les longueurs d'onde 2750-4700 Å (ultra-violet) pour la recherche des éléments suivants : Mn, Pb, Ga, Bi, Co, Ni, Sn, Va, Cr, Ti, Zr, Mo.

- dans le visible et l'infra-rouge pour les éléments ci-après : Sr, Ba, Rb, Li.

La lecture des résultats se fait par comparaison avec des gammes étalonnées entre 3 et 1000 ppm de chacun des éléments dans une matrice convenable.

TABLE DES MATIERES

I - LE MILIEU NATUREL

1. Situation géographique 3

1.1. Le modelé 4

1.1.1. Le modelé de la zone soudano-guinéenne
1.1.2. Le modelé subhorizontal
1.1.3. Le modelé dunaire
1.1.4. Le modelé des massifs (massifs du Ouaddaï, massif central tchadien, massifs Borkou-Ennedi-Tibesti)

2. Le climat 6

2.1. La pluviométrie. Régime des pluies 7
2.2. La température 9

2.2.1. Température sous abri
2.2.2. Température au sol et dans le sol

2.3. L'hygrométrie 11
2.4. L'évaporation 12
2.5. Indices climatiques 12

2.5.1. Indice d'aridité de de Martonne
2.5.2. Rapport $\frac{\text{Evaporation}}{\text{Pluviométrie}}$
2.5.3. Indice de drainage de Aubert-Hénin

3. La végétation 14

3.1. Le domaine soudano-guinéen
3.2. Le domaine sahélo-soudanien
3.3. Le domaine sahélo-saharien
3.4. Le domaine saharien

4. Hydrographie 16

4.1. Le réseau hydrographique du Logone et Chari - Le lac Tchad, le lac Iro 16

4.1.1. Le Logone
4.1.2. Le Chari
4.1.3. Le lac Tchad
4.1.4. Le lac Iro

4.2. Le réseau hydrographique du Batha - Le lac Fitri 20

4.2.1. Le Batha
4.2.2. Le lac Fitri

4.3. Le réseau hydrographique de l'est tchadien 22

4.3.1. Ouadis des plaines de piedmont du massif du Ouaddaï
4.3.2. Ouadis du Mortcha (ouadis Hawach, Oum-Hadjer, Chili, Saala)

4.4. Le réseau hydrographique de l'Ennedi 23

4.5. Le réseau hydrographique du Tibesti 23

4.5.1. Le bassin tchadien
4.5.2. Le bassin libyen

5. Les nappes 25

5.1. Région sud 25

5.1.1. La nappe des koros
5.1.2. La nappe des bassins alluvionnaires du Logone et Chari et des bahrs Salamat, Keïta et Aouk
5.1.3. La nappe du Chari-Baguirmi

5.2. Région nord 27

5.3. Région est 30

5.4. Nappes du Borkou-Ennedi-Tibesti 31

II - LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

1. Introduction 34

2. Stratigraphie tchadienne 36

2.1. Les formations précambriennes
2.2. Les formations primaires
2.3. Les formations secondaires
2.4. Les formations tertiaires
2.5. Les formations quaternaires

3. Roches et formations sédimentaires 42

3.1. Roches des formations précambriennes 42
3.2. Grès paléozoïques et Continental Terminal (régions nord et est) 43

3.2.1. Grès paléozoïques (Borkou-Tibesti) 44
3.2.2. Grès du Continental Terminal 45

3.3. Formations continentales terminales (région sud et massif central tchadien) 46

3.3.1. Série paléotchadienne supérieure 48
3.3.2. Séries paléotchadiennes moyenne et inférieure 49

3.3.2.1. Série moyenne
a. Buttes-témoins partiellement ennoyées dans des sédiments récents
b. Buttes-témoins accolées aux inselberge
3.3.2.2. Série inférieure
a. Les formations des koros
b. L'approche des massifs
. Contreforts de l'Adamaoua
. Pourtour du massif central tchadien

3.3.3. Caractères analytiques généraux des formations continentales terminales 57

3.3.3.1. Les roches mères
a. Grès et arkoses
b. Argilites
3.3.3.2. Les formations de sols rouges

3.3.4. Conclusions sur les formations continentales terminales 61

3.4. Formations quaternaires 62

3.4.1. Formations fluviatiles 63

3.4.1.1. Formations anciennes remaniées 63
a. Sud et centre tchadien (entre les 9è et 13è parallèles)
b. Nord et est tchadien (nord du 13è parallèle)
c. Conclusions sur les formations anciennes remaniées
3.4.1.2. Série sableuse récente 71
a. Bassin du Logone et Chari - Bassins des bahrs Salamat, Keïta et Aouk
. Faciès grossier à cailloutis et sables quartzeux et feldspathiques
. Faciès fin
- Confluence ancienne Bahr Erguig-Chari
- Région nord et nord-est de Fort-Lamy
- Bordure sud et sud-ouest du lac Fitri
b. Région est du Tchad
. Plaine de piedmont du massif du Ouaddaï
. Accolements sableux aux massifs granitiques

c. Conclusions sur la série sableuse récente

3.4.1.3. Série subactuelle à actuelle 80
- Faciès sableux
- Faciès argilo-limoneux
- Conclusions sur la série subactuelle à actuelle

3.4.2. Séries fluvio-lacustre et lacustre 83

3.4.2.1. Série argilo-sableuse à cailloutis des regs 83

- Conclusions sur la série argilo-sableuse à cailloutis des "regs"

3.4.2.2. Série argilo-sableuse à nodules calcaires 86
- Conclusions sur la série argilo-sableuse à nodules calcaires

3.4.2.3. Série lacustre récente 88
a. Bassins des lacs Tchad, Fitri, Iro
b. Régions nord et nord-est du lac Tchad (ouadis de Mao)
c. Dépressions du Borkou
d. Conclusions sur la série lacustre récente

3.4.2.4. Formations lacustres actuelles 93
- Conclusions sur les formations lacustres actuelles

3.4.3. Cordons sableux 95

3.4.3.1. Le cordon sud 96
3.4.3.2. Le cordon nord 97
- Conclusions sur les cordons sableux

4. Conclusions sur les formations sédimentaires 99

III - LES SOLS DERIVES DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

1. Les sols des formations continentales terminales 108

1.1. La surface de Koro 109

1.1.1. Morphologie
1.1.2. Caractères analytiques

1.2. La surface ferrugineuse cuirassée 112

1.2.1. Epigénies d'argilites 112

1.2.1.1. Morphologie
1.2.1.2. Caractères analytiques

1.2.2. Cuirasses ferrugineuses 114

1.2.2.1. Morphologie
1.2.2.2. Caractères analytiques
1.2.2.3. Autres exemples

1.2.3. Toposéquence 116

1.2.3.1. Morphologie
1.2.3.2. Caractères analytiques

1.2.4. Caractères analytiques généraux des cuirasses ferrugineuses 117

1.3. Sols rouges 120

1.3.1. Sols rouges de plateaux 120

1.3.1.1. Morphologie
1.3.1.2. Caractères analytiques du profil T2

1.3.2. Surfaces résiduelles (sols rouges ennoyés dans des sédiments plus récents) 121

1.3.2.1. Morphologie
1.3.2.2. Caractères analytiques du profil T35

1.3.3. Surfaces résiduelles (sols rouges circonscrits autour des pointements du socle) 122

1.3.3.1. Morphologie
1.3.3.2. Caractères analytiques du profil Ma 3

1.3.4. Caractères analytiques généraux des sols rouges 123

2. Les sols de formations anciennes remaniées 128

2.1. Sols dérivés des formations anciennes après un remaniement local de ces dernières 128

2.1.1. Sol beige et sol de bas de pente : profils T12, T 13,
2.1.2. Sol ocre. Profil T 36
2.1.3. Caractères analytiques des profils T 12, T 13, T 36
2.1.4. Caractères analytiques généraux

2.2. Sols dérivant des formations anciennes paléozoïques ... continentales terminales après transport et redépôt 135

2.2.1. Les sols au sud du 13è parallèle 135

2.2.1.1. Morphologie
2.2.1.2. Caractères analytiques des profils T 11, T 34, T 47
2.2.1.3. Caractères analytiques généraux

2.2.2. Les sols au nord du 13è parallèle 143

2.2.2.1. Morphologie
2.2.2.2. Caractères analytiques des profils T 1 et Bol 6
2.2.2.3. Caractères analytiques généraux

3. Les sols de la série sableuse récente 150

3.1. Sols des bassins alluviaux du Logone et Chari, de leurs affluents ou défluents anciens ou actuels 151

3.1.1. Morphologie
3.1.2. Caractères analytiques des profils T 42, T 3, D 33
3.1.3. Caractères analytiques généraux

3.2. Sols au nord du 13è parallèle et du second delta fossile du Chari 159

3.2.1. Morphologie
3.2.2. Caractères analytiques des profils A 77, Bo 35, A 59, Da 8
3.2.3. Caractères analytiques généraux

4. Les sols de la série alluviale subactuelle à actuelle 165

4.1. Morphologie
4.2. Caractères analytiques des profils D 28, T 9, T 49
4.3. Caractères analytiques généraux

5. Sols de la série fluvio-lacustre des "regs" 173

5.1. Morphologie
5.2. Caractères analytiques des profils Ma 55, Ma 87, A 139
5.3. Caractères analytiques généraux

6. Sols de la série fluvio-lacustre argilo-sableuse à nodules calcaires 180

6.1. Morphologie
6.2. Caractères analytiques des profils T 6 et T 41
6.3. Caractères analytiques généraux

7. Sols formés sur la série lacustre récente 188

7.1. Les sols au sud du 13è parallèle au nord et à l'ouest du cordon sableux 189

7.1.1. Morphologie

7.1.1.1. Sols argileux de bas-fond subissant une forte inondation semi-permanente
7.1.1.2. Sols argileux de dépression à inondation temporaire
7.1.1.3. Sols argilo-sableux de dépressions peu accusées ou de bordure de dépression subissant une submersion faible par les eaux de précipitations ou de ruissellement

7.1.2. Caractères analytiques des profils T 5, T 51, Da 15
7.1.3. Caractères analytiques généraux
7.1.3.1. Sols argileux de bas-fond à inondation semi-permanente
7.1.3.2. Sols argileux de dépression à inondation temporaire
7.1.3.3. Sols argilo-sableux de dépressions peu accusées ou de bordure de dépressions subissant une faible submersion
7.2. Les sols au nord du 13è parallèle 200
7.2.1. Sols des ouadis du Kanem 201
7.2.1.1. Morphologie
7.2.1.2. Caractères analytiques des profils Mao 3, 33, 49
7.2.1.3. Caractères analytiques généraux
7.2.2. Sols de la dépression du Borkou 208
7.2.2.1. Morphologie
7.2.2.2. Caractères analytiques des profils L 118, L 5, L 119
7.2.2.3. Caractères analytiques généraux
8. Sols formés sur la série lacustre actuelle 213
8.1. Morphologie
8.2. Caractères analytiques des profils BG 25, BG 4, BG 7, BG 179, H 108, H 52, I 15, H 7
8.3. Caractères analytiques généraux.

IV - LES PROCESSUS DE PEDOGENESE

1. Ferrallitisation 222
1.1. Altération des minéraux silicatés 222
1.2. Altération des minéraux argileux 223
1.2.1. Montmorillonite, illite ... minéraux 2/1
1.2.2. Kaolinite
1.3. Facteurs d'évolution des sols rouges ferrallitiques 224
1.3.1. Les facteurs climatiques
1.3.2. La matière organique
1.3.3. Produits organiques solubles. Dégradation des minéraux argileux. Produits amorphes (fer, silice, alumine)
.Conclusion

2. La ferruginisation 234

2.1. La migration du fer; son immobilisation. Les liaisons fer-argile, fer-argile - matière organique 234

2.1.1. La migration du fer
2.1.2. L'immobilisation du fer
2.1.3. Les formes de liaison fer-argile, fer-argile - matière organique

2.2. La ferruginisation dans la cuvette tchadienne 236

2.2.1. La matière organique. Sa composition
2.2.2. Le fer. Son accumulation
2.2.3. Processus de ferruginisation en climats tropical semi-humide et tropical sec
2.2.4. Le lessivage de l'argile
2.2.5. Les produits amorphes
.Conclusion

3. Hydromorphie 242

3.1. Caractérisation
3.2. Conditions d'évolution en fonction de la texture
3.3. La matière organique. Son processus d'évolution
3.4. La migration du fer
. Conclusion

4. Vertisolisation 245

4.1. La matière organique
4.2. Processus d'évolution de la matière organique
4.3. La fraction argileuse. La recherche de produits amorphes
4.4. La coloration des vertisols
4.5. Position des vertisols en Afrique. Conclusions

5. La steppisation 250

5.1. La matière organique
5.2. Processus de pédogenèse
5.3. Coloration. Les liaisons fer-argile-matière humique
5.4. Lessivage de l'argile
.Conclusion

6. L'halomorphie 254

6.1. Les facteurs d'évolution 254

6.1.1. Les facteurs géographiques et climatiques
6.1.2. Les facteurs topographiques, la profondeur de la nappe, la texture du sol

6.2. Les processus d'évolution 255

6.2.1. La salinisation 255

6.2.1.1. La nappe phréatique
6.2.1.2. Les sols
a. Variation de la salinité dans le profil de sol en cours d'année. Mouvement des solutions du sol. Phénomène de remontée et de lessivage
b. Variations interannuelles de la salinité
c. Exudation saline superficielle. Nature des ions
d. La matière organique. Sa migration en sol salé
e. Fraction argileuse

. Conclusion

6.2.2. L'alcalisation 261

6.2.2.1. Rôle des cations
6.2.2.2. Les phénomènes de remplacement. Les accumulations calcaires
6.2.2.3. La fraction argileuse et le fer
6.2.2.4. La matière organique
6.2.2.5. Processus d'alcalisation
.Conclusion

7. Carbonatation 268

7.1. Accumulations calcaires diffuses et encroûtements en milieu salé et hydromorphe 268
7.2. Nodulation calcaire 270
. Conclusion

V - HISTOIRE GEOLOGIQUE - ESSAIS DE CHRONOLOGIE ET DE CORRELATION - CYCLE SEDIMENTAIRE ET PEDOGENESE - ESSAIS DE DATATIONS

1. Histoire géologique 274

1.1. Les systèmes dunaires 274

1.1.1. Le système dunaire du sud (1er erg)
1.1.2. Le système dunaire au nord du 12è parallèle (2è erg)
1.1.3. Le système dunaire du lac Fitri. Les accolements sableux aux massifs de l'est (3è erg)

1.1.4. Le système dunaire actuel (erg actuel)

1.2. Les cordons sableux 276
1.3. Les deltas anciens du Chari 277
1.4. Mouvements tectoniques et subsidence 278
1.5. Les transgressions lacustres 278

1.5.1. Premières transgressions 278

1.5.1.1. Dépôt des sédiments continentaux terminaux
1.5.1.2. Les différentes surfaces : bauxitique, ferrallitique, cuirassée
a. La surface bauxitique résiduelle de Koro
b. La première surface ferrallitique
c. La surface cuirassée générale
d. La deuxième surface ferrallitique

1.5.1.3. Dépôt des formations anciennes remaniées. Lac à la cote 380-400 m - 1er delta du Chari - 1er erg fossile

1.5.2. Deuxième transgression : dépôts fluvio-lacustres de la série argilo-sableuse à nodules calcaires et de celle des regs. Formation du second erg fossile 282

1.5.3. Troisième transgression 283

1.5.3.1. Premier tracé du réseau hydrographique actuel. Dépôt de la série sableuse récente
1.5.3.2. Formation du cordon sableux de la cote 320 m - Dépôt de la série lacustre récente - Second delta du Chari
1.5.3.3. Assèchement. Remaniement éolien (3è erg)

1.5.4. Quatrième transgression : le cordon sableux de la cote 287-290 m. Le 3è delta du Chari. Les deltas intérieurs des bahrs Erguig et Batha. La dépression du Bahr el Ghazal. Formation des bourrelets. Dépôt de la série alluviale sub-actuelle à actuelle 287

1.5.5. La période actuelle 288

2. Essais de chronologie et de corrélations à l'intérieur de la cuvette tchadienne (Niger - Nigéria - Cameroun) et avec divers autres territoires, vallée moyenne du Niger - Sénégal - Mauritanie - Sahara nord occidental - Afrique du Nord 290

2.1. La cuvette tchadienne 290

2.1.1. Le Niger oriental

2.1.2. Nigéria
2.1.3. Cameroun
2.1.4. Le problème de la subsidence de la cuvette tchadienne
2.1.5. Les niveaux lacustres supérieurs à la cote 400 m
2.1.6. Les niveaux lacustres entre les cotes 400 et 320 m
2.1.7. Essai de datation des formations sédimentaires récentes dans la cuvette tchadienne

2.2. La vallée moyenne du Niger 297
2.3. Sénégal - Mauritanie 298
2.4. Chronologie au Nord Sahara et en Afrique du Nord 299

2.4.1. Le Sahara nord occidental
2.4.2. Afrique du Nord

2.4.2.1. Maroc - Algérie - Tunisie
2.4.2.2. Egypte

2.5. Essais de corrélation entre différentes chronologies et datations absolues 302

2.6. Glaciation-Pluvial — Glaciation interpluvial 304

3 .Cycle sédimentaire et pédogenèse en relation avec l'alternance de phases pluviale et aride 305

3.1. Le cycle de sédimentation 305
3.2. La pédogenèse du sédiment 305
a. Sédiment exondé
b. Sédiment immergé lors de son dépôt, exondé ensuite
c. Sédiment immergé lors du dépôt, puis subissant des immersions et exondations successives

4. Les pédogenèses successives 308

4.1. La phase ferrallitisante 308
4.2. La phase ferruginisante 309

4.2.1. Formations anciennes remaniées
4.2.2. Série sableuse récente

4.3. Phase steppisante 312
4.4. Phase hydromorphe 312
4.5. Phase halomorphe 313
4.6. Les phases hydromorphe - vertique - de carbonatation et halomorphe dans des sédiments inondés de texture fine 314

4.6.1. Phases d'hydromorphie et de carbonatation
4.6.2. Phase vertique
4.6.3. Phase halomorphe

5. Essai de datation des pédogenèses et des sols 316
6. Industries préhistoriques et peuplement de la cuvette tchadienne 319

CONCLUSIONS 321

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 325

ANNEXES I. SEDIMENTOLOGIE 381
II. PEDOLOGIE 407
III. METHODES ANALYTIQUES 419

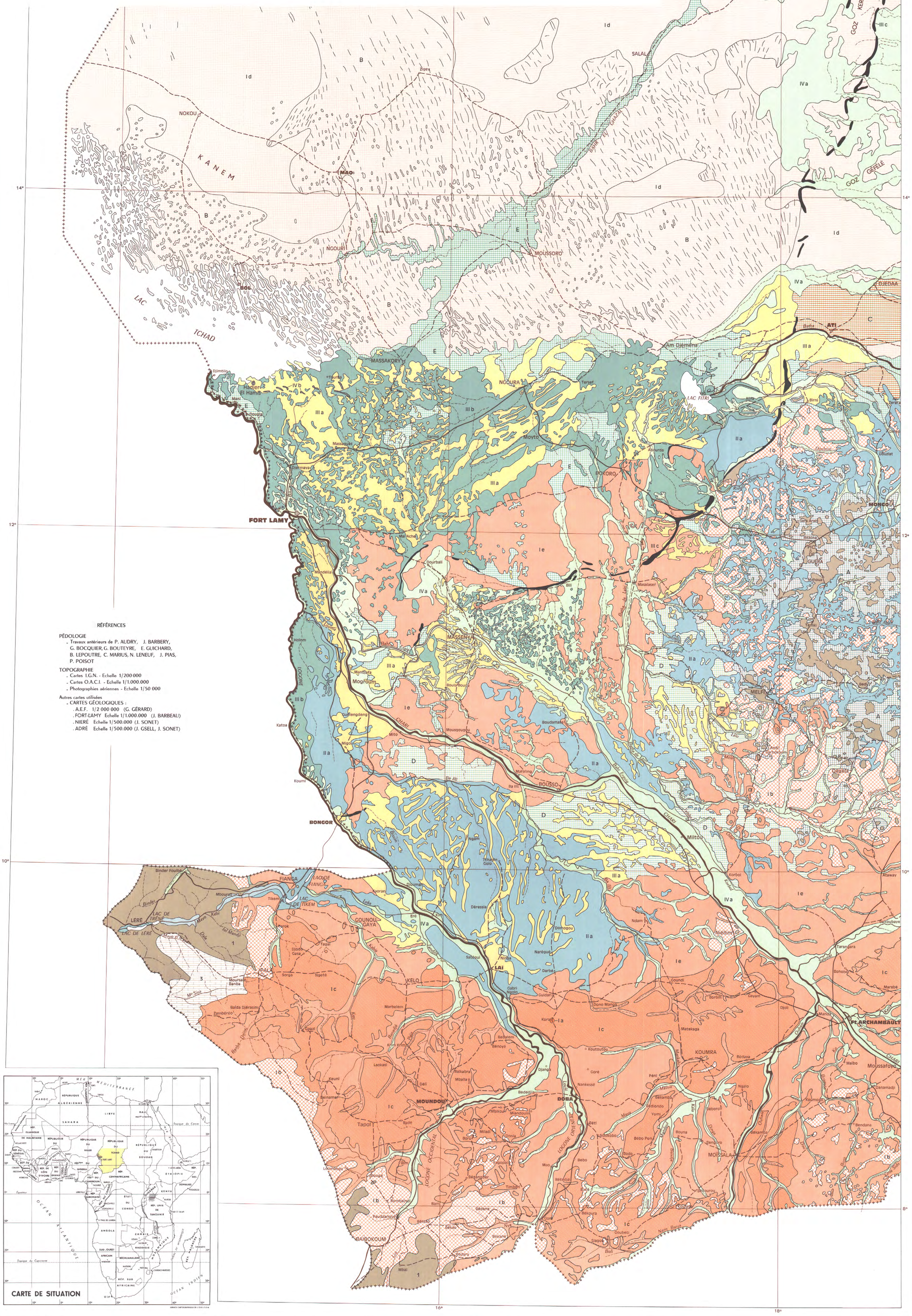
OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M.
DE FORT-LAMY

RÉPUBLIQUE DU TCHAD

ESQUISSE GÉOLOGIQUE
DES FORMATIONS TERTIAIRES ET QUATERNAIRES DU TCHAD (AU SUD DU 16E PARALLÈLE)
A L'ÉCHELLE DE 1 : 1 000 000

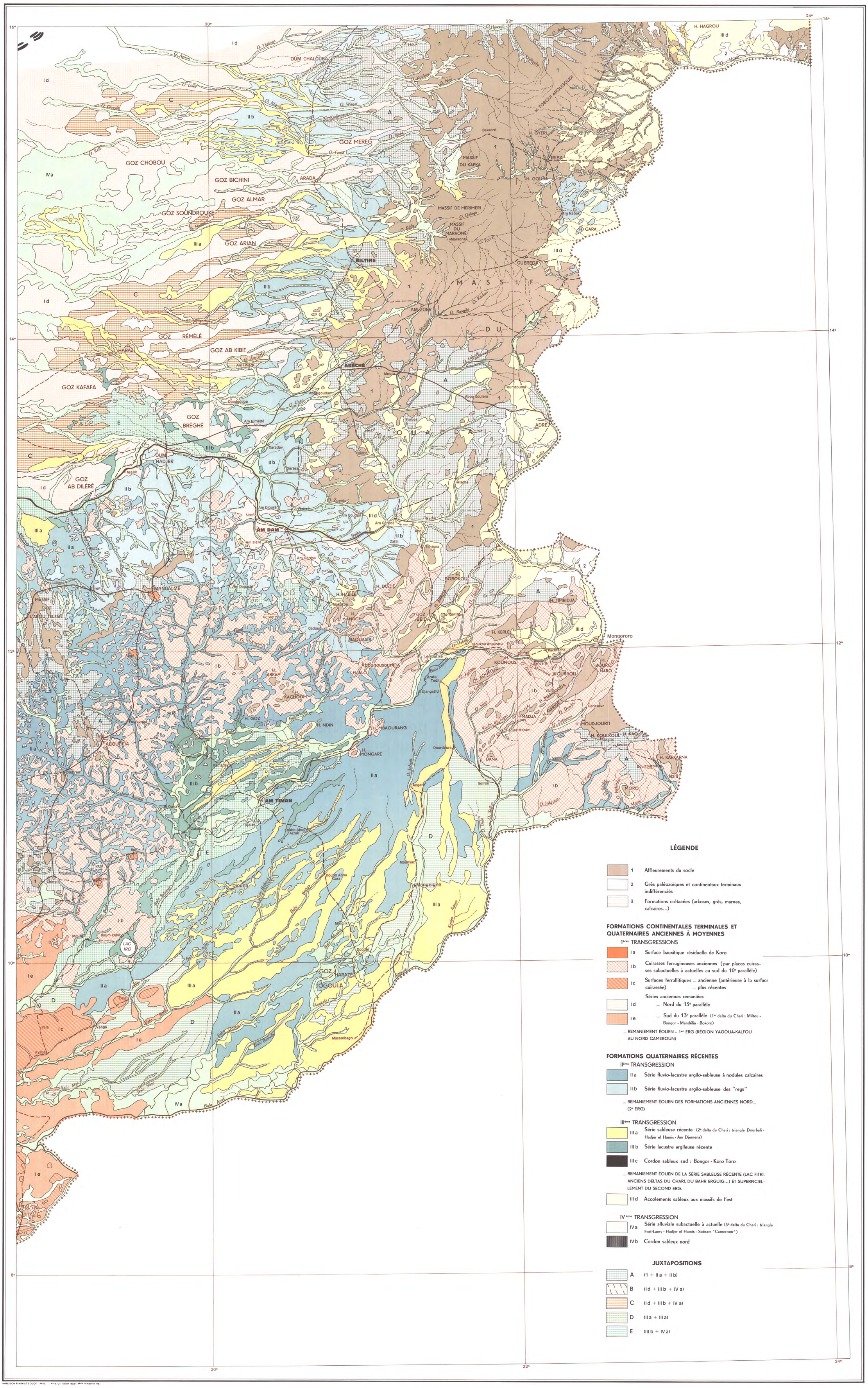
Dressée par J. PIAS


18°
16°
14°
12°
10°
8°
Koro Toro
SALAL
GOZ KERKI
GOZ GEFELE
BAHR EL GHAZAL
NOKOU
KANEM
MAO
NGOURI
MOUSSORO
BOL
LAC TCHAD
Djimtilo
Hadjer El Hamis
Mani
Dougia
Tourba
MASSAKORY
NGOURA
Terset
LAC FITRI
Am Djémena
ATI
DJEDAA
Batha
Alifa
Birni
Dourbali
Mandélia
Loggone
Holom
Mahadjafa
Mogroum
Boula Bouca
Guélengdeng
Katoa
Mito
Migolo
Koumi
Mafaling
BOUSSO
CHARI
Miltou
BONGOR
Ngam
Korbol
Ataway
Abourda
Oum Hadjer
Biltine
Dourlat
Oniné
Oniné
Dékad
Ridjal
Dilia
Ouaya
Birdjo
Ouaddaï
MONGO
Sara Arata
Bitkine
PIC DE GUERA
Mahoua
Masalasef
Batha de Laïri
Laïri
Gallé
Bedjo
Tomki
Dam Ago
Tapoa
Melfi
Andi Gardokoum
Dagela
Ouanfoum
Ba Illi
Ba Illé
Ba Illi
Ba Illé
Ba Illi
Ba Illé

ESQUISSE GÉOLOGIQUE

DES FORMATIONS TERTIAIRES ET QUATERNAIRES DU TCHAD (AU SUD DU 16e PARALLÈLE)

(FEUILLE EST)


16°
20°
22°
24°
14°
12°
10°
8°
OUM CHALOUBA
GOZ MEREG
GOZ CHOBOU
GOZ BICHINI
GOZ ALMAR
GOZ SOUNDROUKÉ
GOZ ARIAN
GOZ RÉMÉLÉ
GOZ AB KIBIT
GOZ KAFAFA
GOZ BRÉGHÉ
GOZ AB DILÉRÉ
ARADA
BILTINE
ABÉCHÉ
AM DAM
MANGALMÉ
AM TIMAN
MASSIF DE L'ABOU TELFAN
MASSIF DU KAPKA
MASSIF DE MERIMERI
MASSIF DU MARAONÉ
MASSIF DU GUEREDA
MASSIF DU OUADDAI
H. HAGROU
H. TOBOLI ABOUGOUDI
H. GYÉRI
IRIBA
H. GOUBA
H. GARA
BAKAORÉ
AM ZOER
ADRÉ
BOROKOU
GOZ BEIDA
H. TIMBIDJA
H. KERLÉ
Mongororo
H. KOUNOUS
H. KOURBOLI
H. BOURO NARO
H. MADJA
H. MOUDJOURTI
H. KOULKOUL
H. KAO
H. KARKARNA
H. DANA
H. MORO
Nzili
H. ABOUDEIA
H. ARKAP
H. KACHOUM
H. ALO
H. ANGOL
H. BAOUASIR
H. HABILÉ
H. DEDE
H. NDIN
H. MBAOURANG
H. MONGARÉ
H. GOZ
Abougousoum
Am Dagacol
Am Djourat
Am Zieré
Am Déréga
Am Goudia
Am Cereda
Am Nabak
Am Himédé
Am Dalam
Dondodop
Garaday
Dérésa
Siref
Tcref
Gadoum
Caraf
Foulounga
Kamadaya
Djelkoye
Bori
Zan
Chingil
Zakouma
El Ocha
Am Djelat
Koubo Abou Azrak
Koubo Abou Gara
Mounyaz
Dourdoura
Angara
Selfou
Mangeigne
Djouna
Goz Harazé
Togoula
Doudel
Tirgil
Mingilik
Masembagn
Yanga
Kyabé
Baïé
Abgé
Moura
Boum-Kabir
LAC IRO
Bahr Azoum
Bahr Kerom
Bahr Sénia
Bahr Bobi
Bahr Mya
Bahr Mya
Bahr Biéré
Bahr Aouk
Bahr Kabia
Bahr Mingilik
Bahr Aguya
Bahr Doggo
Bahr Baouda
Bahr Azraf
Bahr Tandjilé
Bahr Aboul
Bahr Arada
Bahr Tandjilé
Bahr Ardeb
Bahr Ardeb
Bahr Ardeb