

B. DUPONT

**ÉTUDE DES FORMATIONS
SÉDIMENTAIRES DU KANEM**

PREMIERS RÉSULTATS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE FORT-LAMY



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE FORT-LAMY

ETUDE DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES DU KANEM

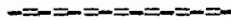
PREMIERS RESULTATS

B. DUPONT
1967

Table des matières

		Pages
0	Introduction	3
I	Les principales unités géomorphologiques	9
II	Etude stratigraphique de quelques ouadis de la région de Mao	
	II/1 introduction	11
	II/2 description des coupes	11
	II/3 interprétation	14
III	Etude stratigraphique des ouadis de la bordure du lac	
	III/1 introduction	19
	III/2 description des coupes	19
	III/3 interprétation	29
IV	Etude de quelques natronières de la bordure nord-est du lac Tchad	
	IV/1 introduction	43
	IV/2 description des coupes	43
	IV/3 interprétation	47
	IV/4 étude de la conductivité	47
	IV/5 analyse des eaux	55
	IV/6 le natron	56
V	Etude des argiles et des limons	
	V/1 introduction	65
	V/2 argile	65
	V/3 limon récent	70
	V/4 limon ancien	70
	V/5 diatomite	71

VI	Etude des formations sableuses	
VI/1	granulométrie	75
VI/2	variation de la granulométrie dans les ouadis	75
VI/3	remarque	80
VI/4	morphoscopie	95
VI/5	minéraux lourds	105
VI/6	colorimétrie	109
VII	Mollusques des formations sédimentaires de la bordure nord-est du lac Tchad	113
VIII	Etude des diatomées de quelques dépôts sédimentaires de la bordure nord-est du lac Tchad	117
IX	Résultats concernant la nappe phréatique du Kanem	
IX/1	conductivité	121
IX/2	analyse chimique	121
X	Bibliographie	149



INTRODUCTION



La zone étudiée, située au nord du lac Tchad sur le territoire de la République du Tchad, est comprise dans un quadrilatère d'environ 100 km sur 60 km ayant pour sommet : Mao, Liwa, Baga-Sola et Massakory. Les formations sédimentaires y sont essentiellement sableuses, seul le fond des dépressions, appelées ouadis, est couvert de dépôts argileux et limoneux.

Dans ce rapport sont successivement abordés :

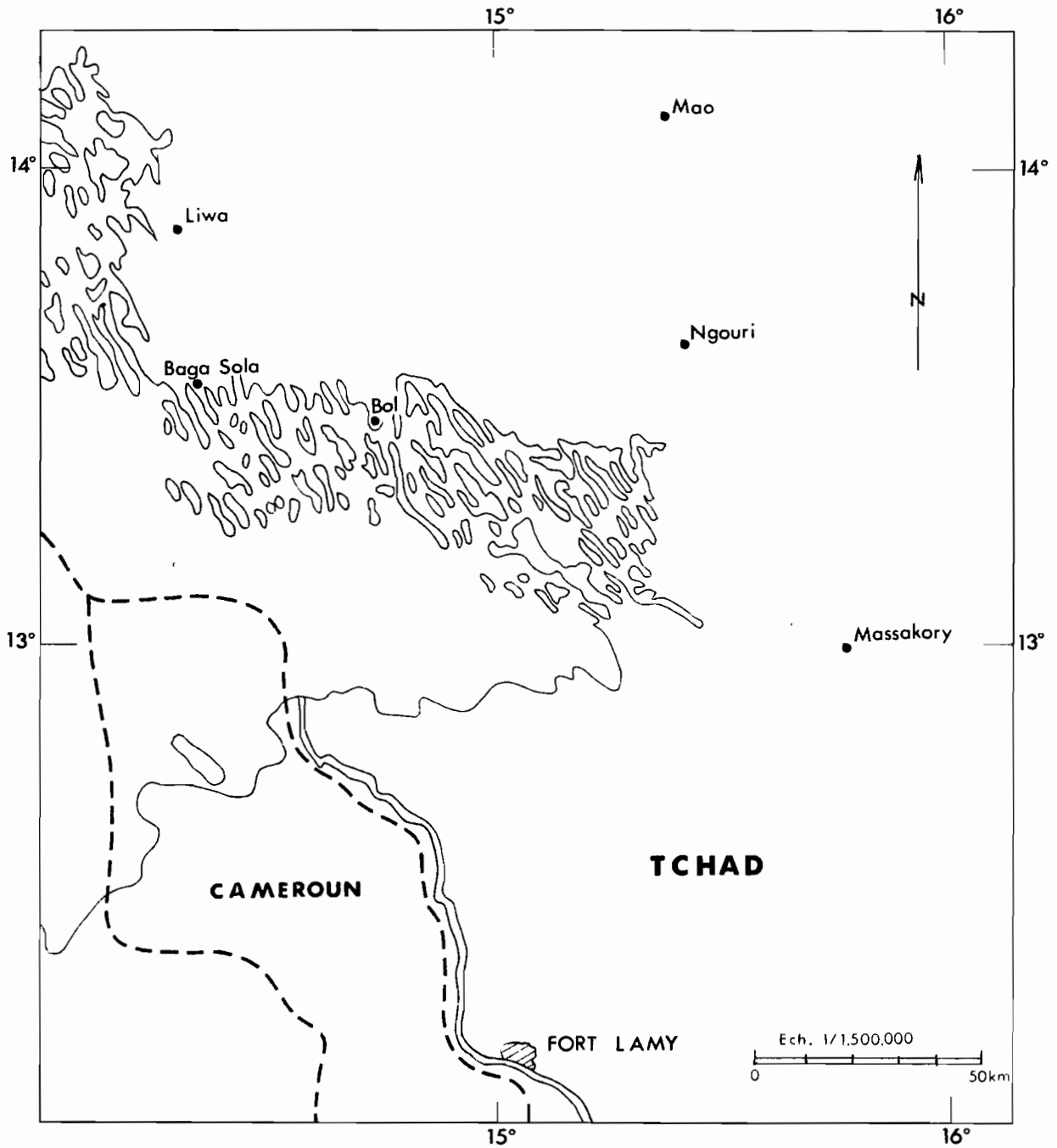
- la morphologie,
- l'étude des dépressions de la région de Mao,
- l'étude des dépressions de la bordure du lac,
- l'étude des natronières,
- l'étude des argiles et des limons,
- l'étude des sables.

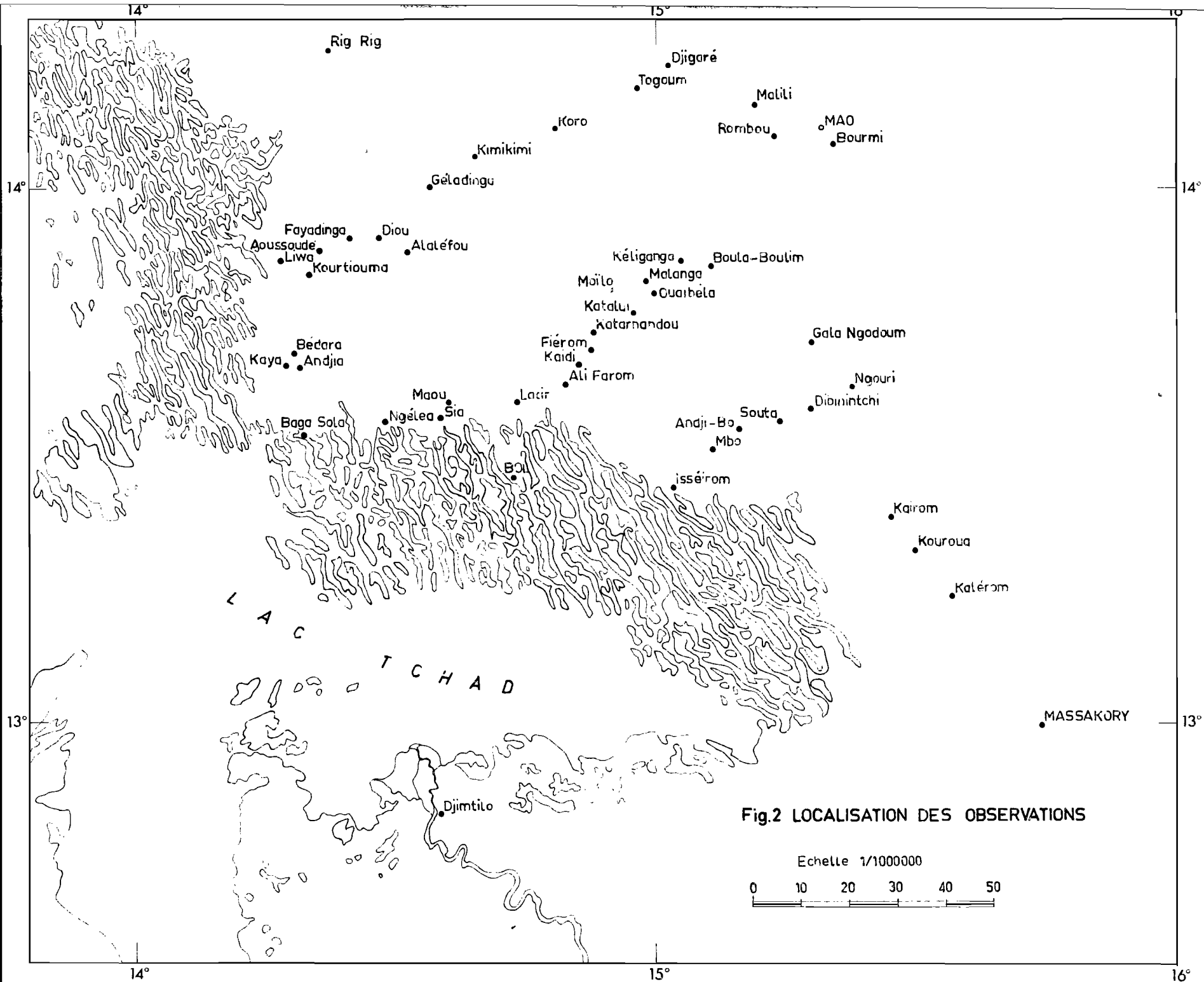
En annexes sont donnés des résultats concernant :

- la paléontologie,
- les diatomées,
- les eaux de la nappe phréatique.



Fig. 1 CROQUIS GENERAL DE SITUATION





I - LES PRINCIPALES UNITES GEOMORPHOLOGIQUES.



Les principales unités géomorphologiques sont étudiées du nord vers le sud, de la région de Mao à la bordure du lac actuel. On y distingue trois zones :

I/A Dans la région de Mao s'étend, à une cote voisine de 330 m, un plateau très régulier formé de sable rouge. Il est couvert d'une pseudo steppe graminéenne à base de *Hyparrhenia* sp. et *Cenhrus biflorus* auxquels se mêlent quelques arbres et arbustes : *Maerua crassifolia*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia tortilis*, *Leptadenia spartium* (J. PIAS, 1962). Sa surface est creusée de vastes cuvettes, les ouadis, allongées selon une direction NNW - SSE et s'enfonçant d'une trentaine de mètres, parfois plus (80 m au Nord de Mao). La pente de ces ouadis est d'environ 8%, leur largeur mesurée au fond est de 0,5 à 1 km en moyenne, leur longueur de 2 à 8 km. Sur le plateau se sont édifiés des petits ensembles dunaires, dunes isolées ou cordon, de 8 à 10 m de haut, habituellement localisés sur la bordure SW des ouadis (cordons de Djigaré et de Togoum), le vent dominant venant du N.E, mais parfois allongés dans le sens du vent lui-même (cordon de Malili). Le rebord du plateau dominant les ouadis est localement grésifié, il se présente alors sous forme de marche de 0,30 à 0,40 m (ouadi à 1 km à l'ouest de Malili). Ces grès rouge-jaunâtre à brun (5YR 5/6 à 7,5 YR 5/4) sont peu consolidés et s'écrasent sous le marteau. Ils renferment environ 4% d'oxyde ferrique, (échantillon 585), le sable du plateau n'en renfermant que 2,4% (échantillon 584). Le fond des ouadis est parfois recouvert par des dunes vives de sable blanc pouvant atteindre une dizaine de mètres de haut (ouadi de Koro, échantillon 571), Ce plateau s'étend jusqu'aux environs de Ngouri au Sud, jusqu'à la hauteur du repère de nivellement 318 près de Boula-Boulim sur la piste de Bol, et jusqu'aux environs de Kimikimi à l'WSW de Mao. Sa limite Est et Nord est en dehors du secteur étudié et n'a pas été observée.

I/B Sur la bordure SW de ce plateau s'étend un système de dunes aujourd'hui fixées que la piste de Bol à Mao traverse sur environ 34 km, entre le repère de nivellement 318 au nord de Boulam-Boulim et Fierom. Ces dunes atteignent 6 à 8 m de haut, leur base est à une cote approximative de 310 - 320 m. Entre Ouafibella et Fierom ce système dunaire semble avoir été envahi par l'eau et partiellement aplani. Dans les zones déprimées, n'atteignant que très exceptionnellement 0,80 à 1 m de creux,

s'est déposé un limon de plus en plus argileux à mesure que l'on avance vers le SW en direction du lac actuel. Ce limon repose par l'intermédiaire d'un niveau sableux enrichi en matières organiques sur le sable remanié des dunes. Ces zones basses portent aujourd'hui une végétation de palmiers doums (*Hyphaene thebaïca*).

I/C. Au Sud de Fierom, jusqu'au lac actuel, soit sur une trentaine de kilomètres au nord de Bol, s'étend un nouveau système dunaire dont les sommets s'élèvent de 8 à 10 m au-dessus des points bas (cote des sommets voisine de 290-300 m). Ces dunes sont aujourd'hui fixées mais ne portent qu'une maigre végétation graminéenne et quelques arbres très espacés. Dans les creux et sur les bas de pente, la nappe phréatique étant toujours à faible profondeur et parfois même affleurante une partie de l'année, s'est développée une abondante végétation de palmiers doums (*Hyphaene thebaïca*) et d'accacias. Ces creux ont été le siège d'une sédimentation de plus en plus importante à mesure que l'on se rapproche du lac actuel (Cette sédimentation est étudiée par ailleurs).

I/D. L'histoire récente de la bordure nord-est du Lac Tchad peut donc se schématiser provisoirement ainsi, postérieurement au dépôt des sables qui, remaniés, forment aujourd'hui le plateau de Mao.

- Une période humide, Un lac recouvrant et aplanissant ce qui est devenu le plateau de Mao.
- Une période de retrait du lac vers le sud avec formation sur sa bordure nord d'un petit erg.
- Une période humide avec extension du lac qui envahit partiellement l'erg précédent.
- Une nouvelle période de retrait du lac avec formation d'un erg au sud du premier.
- Une période humide. Les creux du dernier erg sont inondés, cet envahissement par l'eau ayant pu localement s'effectuer, sans qu'il y ait relation directe avec le lac lui-même, par simple remontée de la nappe phréatique. Le lac atteignait alors la cote 287 m (Ligne de coquillages sur le flanc des dunes entre les cotes 285 et 287 m).
- Une dernière période de retrait du lac qui atteint une cote voisine de l'actuelle (283 m en Décembre 1965). Ce retrait ne s'étant pas poursuivi d'une façon régulière ainsi qu'en témoigne l'existence d'une rupture de pente sur les flancs des anciennes dunes.

II - ETUDE STRATIGRAPHIQUE DE QUELQUES OUADIS
DE LA REGION DE MAO

II/1 Introduction

Ces ouadis, allongés dans une direction NNW - SSE, mesurent environ 1 à 3 km sur 0,500 à 1 km, ils s'enfoncent d'une vingtaine de mètres sous la surface du plateau. Leur pente est d'environ 8%. Parfois le fond en est occupé par un lac résiduel (Rombou) mais le plus souvent la nappe se trouve à faible profondeur (1 à 2 m., et n'afléure pas. Elle peut, dans certains cas, se situer beaucoup plus bas.

Ouadi	Profondeur de la nappe dans les puits
Koro	1,30 m
Mby	1,90 m
Tougoum	2,40 m
Djigaré	2,40 m
Malili	1,95 m
Mao (aérodrome)	4,23 m
Bourmi	8,30 m

Nous donnons la description de plusieurs coupes échelonnées sur la pente d'un ouadi, celui de Koro, pour mettre en évidence la terminaison des différents niveaux en biseau sur les pentes. Ce dispositif est absolument général, nous n'indiquons donc pour les autres ouadis que la coupe correspondant au fond.

Dans l'ouadi de Bourmi des mesures de nivellement précises ont permis de mesurer la pente de la terminaison en biseau d'un niveau de limon gris-brun. Pour une distance de 42 m mesurée sur la pente, la base de ce niveau s'élève de 3,80 m, soit une pente de 9%, son épaisseur sur cette même distance passe de 1,70 m au point le plus bas, à 0,60 m au point le plus élevé.

II/2 Description des coupes

- Ouadi de Koro (14°07' LN - 14° 48' LE).

Il s'allonge sur environ 1,600 km, sa largeur moyenne étant de 0,300 km à sa base à une vingtaine de mètres sous le niveau des dunes qui le bordent. Le fond en est occupé par une formation limoneuse riche

.../...

en diatomées, atteignant 3,10 m d'épaisseur et devenant, en profondeur argilo-limoneuse. Cette formation repose sur du sable et se retrouve sous forme de lambeaux résiduels à mi-pente. Elle est localement surmontée par des petites dunes actuelles de sable blanc. A l'extrémité Nord de l'ouadi des restes de fours, des scories de fer et des blocs de grès ferrugineux (ceux-ci n'ont pu être retrouvés en place) reposent directement sur le limon.

- Coupe A. sur la pente de l'ouadi

- 0,50 m - Sable jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6).
- 0,20 m - Limon gris-brun, carbonaté (566).
 - Sable blanc, fin, avec quelques trainées rouilles d'hydroxyde (439).

Les numéros entre parenthèses correspondent d'une part à la couleur de l'échantillon sec selon la notation Munsell, d'autre part à l'échantillon lui-même.

- Coupe B.

- Sable blanc, fin sur plus de 2,30 m.

- Coupe C.

- 0,90 m - Sable limoneux gris-brun, carbonaté (440).
- 0,30 m - Limon ocre rouille puis gris graphite à la base (441).
 - Sable blanc, fin.

- Coupe D

- Dans le fond de l'ouadi. Nappe phréatique à 1,30 m
- 2,00 m - Limon brun clair, pulvérulent à l'état sec, carbonaté, renfermant de nombreuses diatomées (Melosira), (567).
- 0,30 m - Limon argileux brun rouille avec taches gris-sombre puis noires en profondeur, non carbonaté, diatomées très rares, (568 et 442).
- 0,05 m - Sable.
- 0,95 m - Limon noir à verdâtre très plastique, non carbonaté, très riche en diatomées (Melosira), (569 et 443).
 - Sable blanc, fin, (570).

Dans toutes ces coupes, le limon gris-brun est riche en diatomées il est de plus carbonaté (5,5% de carbonates dans l'échantillon N° 440). Le limon argileux par contre ne paraît pas renfermer de diatomées.

- Coupe E - à l'extrémité nord-est de l'ouadi, à mi-pente

- Sable blanc, fin, éolien (dune vive actuelle) (571).
- Sable jaune-rougeâtre, fin à moyen, éolien.

- Argile sableuse blanche, riche en diatomées, présentant en surface une polygonation de l'ordre de la dizaine de cm, carbonaté ($Co_3 = 8,6\%$) (444). Vers la base il devient gris-brun (572) puis gris-graphite à noir-brun-rouge.
- Sable argileux brun-rouge.
- Sable blanc, fin.

- Ouadi de Mby (14° IO'LN - 15° 08'LE)

- Coupe au fond de l'ouadi. Nappe à 2,15 m.
- 0,30 m - Limon argileux gris-brun, légèrement carbonaté, renfermant des diatomées, (583).
- 0,90 m - Limon brun très pâle (IOYR 8/4), non carbonaté très riche en diatomées, nombreuses tâches d'hydroxydes, (582).
- 0,80 m - Argile brun-grisâtre, petits polyèdres aplatis de 1 à 2 cm, nodules noirs friables riches en fer. Niveau renfermant quelques diatomées, (581).
- 1,10 m - Limon verdâtre, gris à l'état sec (5Y 6/1), sableux sur 0,60 m (579 et 580), pur ensuite, (578).
- Sable gris, moyen, (577).

- Ouadi de Togoum (14° IO'LN - 14° 58'LE)

- Coupe A. Au fond de l'ouadi.
- 2,00 m - Limon brun clair, massif, riche en diatomées. A partir de 1,60 m tâches rouilles d'hydroxydes.
- 3,50 m - Sable limoneux brun-sombre à noir ou verdâtre. Au sommet et à la base lits très minces de sable blanc, (447).
- Sable blanc.
- Coupe B. A 2,50 m au dessus de la coupe A.
- 0,10 m - Sable brun-pale, fin à moyen.
- 0,50 m - Limon riche en diatomées.
- Sable grossier éolien.
- Coupe C. A 4 m au dessus de la coupe A.
- 0,10 m - Sable brun-pale, fin à moyen.
- 0,30 m - Limon riche en diatomées.
- Sable grossier éolien.

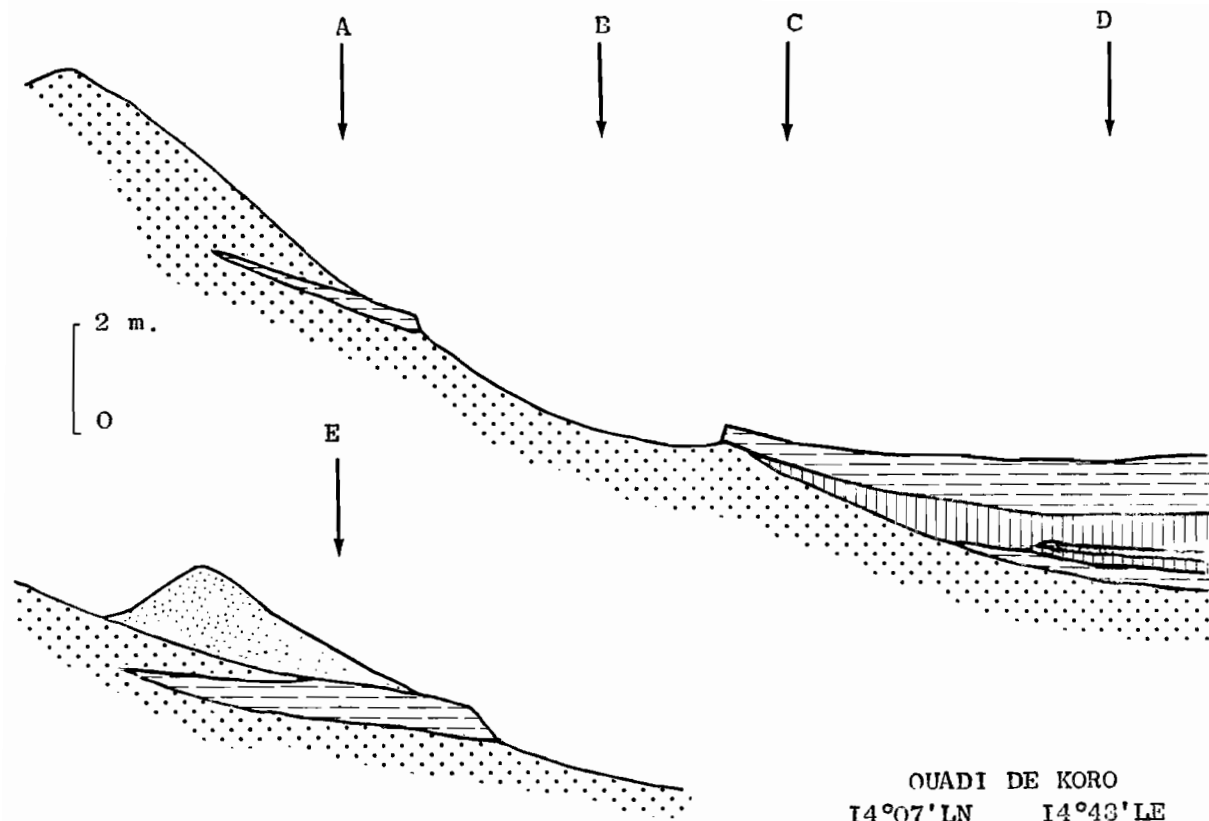
- Ouadi de Djigaré (14°13' - 15°03' LE)
 - Coupe au fond de l'ouadi, nappe phréatique à 2,00 m.
 - 1,80 m - Argile brune, massive, carbonatée ($CO_3 = 5,9\%$), riche en diatomées, (448)
 - 0,50 m - Sable limoneux, brun-rouille, fortement carbonaté ($CO_3 = 36\%$), (450).
 - 0,40 m - Limon noir, riche en diatomées.
 - Sable jaune clair, très fin.

- Ouadi de Malili (14°09' LN-15° 11' LE).
 - Coupe au fond de l'ouadi, nappe phréatique à 2,06 m.
 - 0,20 m - Limon gris.
 - 2,50 m - Limon brun-olive, puis rouille et gris clair en profondeur. Lits de sable.
 - 0,60 m - Argile sableuse grise (5Y 5/1), carbonatée ($CO_3 = 3,0\%$) (453).
 - Sable moyen à grossier, surplus de 0,30 m.

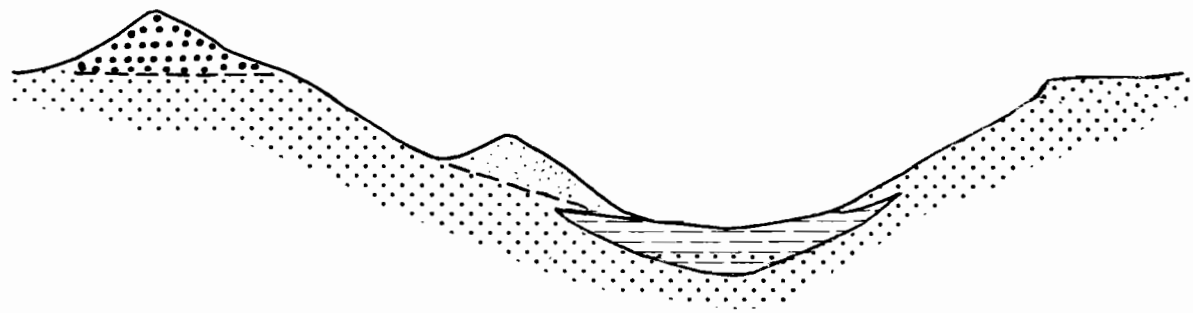
II/3 Interprétation.

L'histoire des ouadis de la région de Mao paraît pouvoir se schématiser ainsi, postérieurement au dépôt des sables constituant le plateau, à leur modelé en erg et à l'aplanissement de celui-ci :

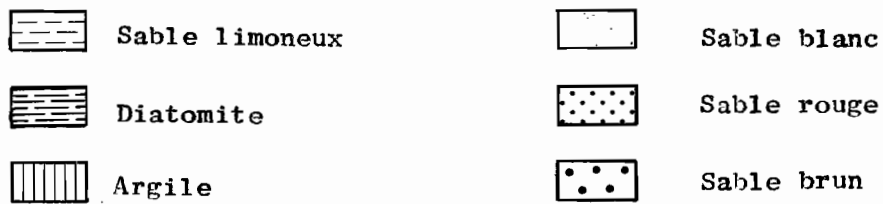
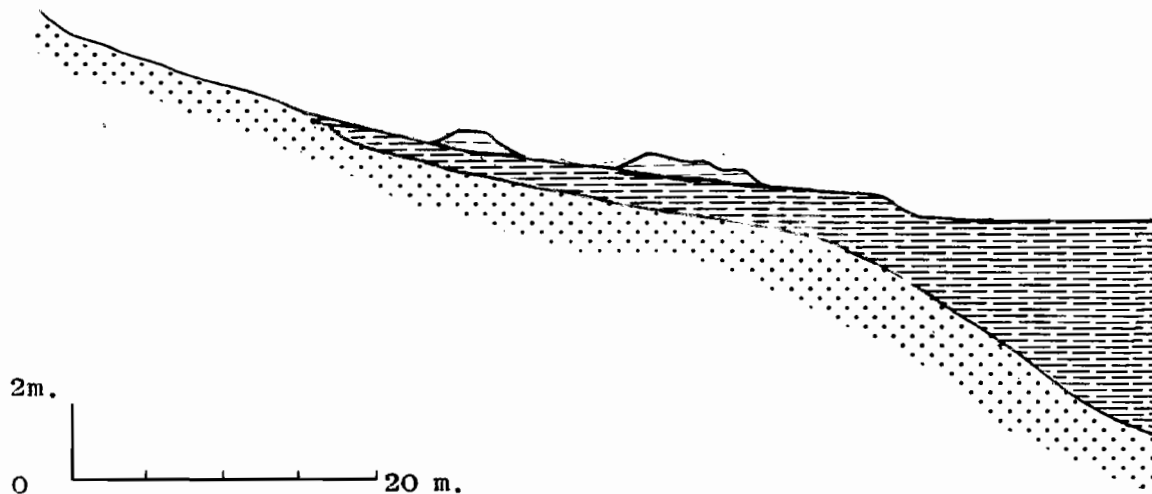
- une période sèche, avec dépôt de sable fin (remaniement éolien) dans le fond des ouadis et les bas de pentes, ceux-ci jouant le rôle de piège à sable.
- une période humide, avec dépôt, dans le fond des ouadis qui sont inondés, de limon sableux puis de limons argileux. Sur les pentes formation d'une terrasse correspondant au niveau atteint par l'eau.
- une période sèche de courte durée correspondant à un niveau de sable, plus généralement à un enrichissement en sable limon qui continue à se déposer. Les ouadis n'étaient donc pas, dans ce cas, totalement asséchés.
- une période humide avec remontée du niveau de l'eau dans les ouadis au dessus de celui atteint à l'humide précédent : dépôt de limon très riche en diatomées ou de diatomites, dépôt recouvrant les terrasses puis de limon gris.
- un retour vers une période sèche correspondant à l'actuel avec baisse du niveau de l'eau, ravinement du limon gris et des diatomites puis formation de petites dunes sur ces deux niveaux.



OUADI DE KORO
 14°07'LN 14°43'LE



OUADI DE TOGOUM
 14°10'LN 14°58'LE



OUADI DE MAO
 14°09'LN 15°20'LE

Fig. 4

III - ETUDE STRATIGRAPHIQUE DES OUADIS
DE LA BORDURE DU LAC

III/1 Introduction.

Les ouadis étudiés se situent tous, entre Baga-Sola et Massakory, sur la bordure nord-est du Lac Tchad. Ils se présentent sous forme de dépressions à fond très plat dont les pentes, souvent assez raides, peuvent atteindre 20%. De forme variable mais habituellement allongés dans le sens NNW-SSE, ils mesurent de quelques centaines de mètres à 1 kilomètre, parfois plus, pour une profondeur d'une dizaine de mètres. Alors que la surface de l'erg ne porte que quelques accacias et une maigre végétation graminéenne, une ceinture de ronniers (*Borassus ethiopum*) et de palmiers doums (*Hyphaene thebaica*) couvre la pente des ouadis dont le fond reste le plus souvent nu mais se couvre parfois, et partiellement, d'un tapis graminéen ras (*Cynodon dactylon*).

Toute une série de forages à la tarière ont été effectués dans ces ouadis pour essayer de préciser la nature des dépôts sédimentaires, leurs successions et leurs raccords avec les dunes. L'observation des puits, en raison de la faible profondeur de la nappe, n'a jamais pu être d'une grande utilité.

III/2 Description des coupes.

Les coupes décrites se rapportent :

- aux deux ouadis de Maou (13°36'LN-14°37'LE et 13°36'LN-14°38'LE).
- à l'ouadi de Sia (13°35'LN-14°34'LE).
- à l'ouadi de Kairom (13°24'LN-15°26'LE).
- à l'ouadi de Kouroua-Kouloufaya (13°20'LN-15°29'LE).
- au polder de Bol-Guini (13°29'LN-14°42'LE).
- à l'ouadi de Kiritia (13°35'LN-15°21'LE).
- à l'ouadi de Gala-Ngodoum (13°45'LN-15°18'LE).
- à l'ouadi de Djou (13°55'LN-14°24'LE).

Pour chaque ouadi la première coupe décrite est celle du fond les suivantes en étant de plus en plus distantes en s'élevant sur les bordures. Dans les descriptions elles mêmes les numéros entre parenthèses correspondent d'une part à la couleur (notation Munsell), d'autre part aux échantillons.

- Ouadi de Maou (13°36'LN - 14°37'LE).

- Coupe A. A partir du fond de l'ouadi

- 1,00 m - Limon argileux brun fortement carbonaté, (427).
- 1,50 m - Argile grise (5Y 5/1), carbonatée, (428).
- 0,80 m - Argile sableuse grise (5Y 5/1), carbonatée, (429).
- Sable brun-gris clair (2 5Y 6/2), fin, carbonaté, renfermant des petites concrétions de sels de l'ordre du mm. (430).

- Coupe B. En bas de la pente de l'ouadi.

- 0,42 m - Limon marron, massif, carbonaté, (521).
- 0,11 m - Limon sableux brun-noir avec quelques concrétions blanches de l'ordre du mm. Niveau carbonaté, (522).
- 0,27 m - Limon sableux gris avec nombreuses concrétions blanches (525) de 1 à quelques mm. Niveau carbonaté, plus sableux à la base, (523).
- 0,05 m - Limon argileux faiblement carbonaté, Quelques concrétions blanches, (524).
- 0,12 m - Sable brun clair, fin, sans stratification, non carbonaté.
- 0,53 m - Argile gris-bleu, bien structurée, polyèdres de l'ordre du cm. à faces brillantes, se débitant en feuillets vers le sommet, non carbonaté dans la masse, faiblement sur les parois des fentes de retrait, (526).
- Sable brun clair, fin, sur plus de 0,50 m.

La teneur en carbonates des échantillons de cette coupe, exprimée en $\text{CaCO}_3\%$, est la suivante : 521=67,20 522=8,33
523=18,8 524=5,41 526=1,41.

- Coupe B.I A 5 mètres de la coupe B et 0,65 m au dessus du fond de l'ouadi.

- 0,30 m - Limon sableux, carbonaté, blanc sur 0,20 m puis noir. Nombreuses concrétions blanches non carbonatées de 0,2 à 5 mm. Limite inférieure irrégulière.
- 0,20 m - Sable brun clair, fin.
- 0,10 m - Argile bleu-vert bien structurée, nombreuses fentes de retrait remplies de sable ou d'un dépôt blanc carbonaté se retrouvant localement à la surface de l'horizon.
- Sable noir, fin, blanc en profondeur.

.../...

- Coupe C. A 2,50 m au dessus du fond de l'ouadi.
 - 0,30 m - Limon sableux gris-brun clair, carbonaté, renfermant quelques coquilles de gastéropodes (528 et 431). Base de l'horizon et début de l'horizon suivant noirci sur 0,10 m, (529).
 - Sable brun très pâle (10YR 8/3), fin, non carbonaté, très nombreuses tâches noires irrégulières, sur plus de 0,70 m. (432).

- Coupe D. A 0,50 m. de la coupe C sur la pente de l'ouadi.
 - 0,50 m - Sable gris clair, fin.
 - Sable brun très pâle sur plus de 0,50 m.

- Ouadi à 3 km. à l'est de Maou (13°36' LN. 14°38' LE)
 - Coupe A. A partir du fond de l'ouadi.
 - 0,80 m - Limon sableux blanc, pulvérulent.
 - 0,50 m - Sable brun très pâle, fin.
 - 2,50 m - Argile limoneuse, olive à l'état humide (5 Y. 4/4), bien structurée, polyèdres de l'ordre du mm. à faces brillantes. Intercalations sableuses de très petites tailles. Passant à argileux en profondeur. Nappe à 1,80 m.
 - Sable brun-gris clair (2Y 6/2), fin, légèrement carbonaté, (424).

 - Coupe B. A 10 m. de la coupe A sur le bord de l'ouadi.
 - Efflorescences salines blanches en écailles.
 - 1,70 m - Limon brun passant à gris olive avec, à partir de 1 m. apparition de tâches brunâtres et de nodules blancs carbonatés de 1 mm. environ. Nappe à 1,70 m.
 - Sable brun gris clair sur plus de 1,60 m., vers 3 m. apparition de nodules blancs carbonatés de quelques centimètres.

 - Coupe C. A 10 m. de la coupe B.
 - Sable gris clair sur plus de 1,50 m.

 - Coupe D. A 5 m. de la coupe C et environ 1,50 m. au dessus du fond de l'ouadi.
 - 0,32 m. - Limon gris avec trainées noirâtres.
 - Sable gris clair (10YR. 7/2), fin, non carbonaté sur plus de 0,70 m, (426).

 - Coupe E. A 3,70 m. de la coupe D.
 - 0,05 m - Sable gris clair, fin.
 - 0,22 m - Limon gris avec trainées noirâtres, renfermant des coquilles de mollusques.
 - Sable gris clair, fin sur plus de 0,80 m.

- Coupe F. A 5 m. de la coupe E.
 - Sable gris clair puis brun très pâle, fin sur plus de 1,00 m.

- Ouadi de Sia (13°35'LN - 14°34'LE)
 - Coupe A. A partir du fond de l'ouadi.
 - 1,00 m - Limon brun carbonaté.
 - 0,70 m - Argile grise (5 Y 5/1) passant à noire en profondeur.
 - Sable sur plus de 0,40 m.

 - Coupe B. A 10 m de la coupe A.
 - 0,80 m - Limon brun carbonaté.
 - 0,02 m - Sable.
 - 0,60 m - Argile grise.
 - Sable sur plus de 0,40 m.

 - Coupe C.
 - 0,60 m - Limon brun clair, carbonaté. Niveau noirci à la base.
 - 0,20 m - Sable limoneux.
 - 0,10 m - Argile grise à structure bien développée.
 - Sable blanc sur plus de 0,40 m.

 - Coupe D.
 - 0,35 m - Limon brun pâle carbonaté.
 - Sable blanc sur plus de 0,40 m.

 - Coupe E.
 - 0,25 m - Limon brun pâle, renfermant des nodules calcaires blancs de 0,1 à 1 cm à structure concentrique, parfois groupés et formant dans ce cas des rognons plus ou moins mammelonnés (433). De grosses concrétions blanchâtres, carbonatées d'aspect, boursouflées en choux-fleurs dépassent du sol de 40 à 50 cm. Elles s'enracinent dans le limon sur 10 à 15 cm, (434)/

- Ouadi de Kairom (13° 24' LN - 15° 26'LE).
 - Coupe A A partir du fond de l'ouadi.
 - 0,90 m - Argilo-limoneux gris, brun clair (10 YR 6/2), (359).
 - 3,00 m - Argile gris-vert, massive.
 - Sable brun gris clair (2,5 Y 6/2), fin, (412).

- Coupe B. A 40 m de la coupe A et 1 m au-dessus.
 - 0,10 m - Sablo-limoneux gris-brun clair, renfermant de nombreuses coquilles de gastéropodes, carbonaté, (297).
 - 0,30 m - Sable brun-jaune avec intercalation d'un niveau noir.
Argile gris-vert, massive.

- Coupe C. A 18 m de la coupe B et 0,60 m au-dessus.
 - 0,65 m - Sablo-limoneux gris-brun clair, (10 YR 6/2), (358).
 - 0,40 m - Argile gris-vert, feuilletée.
 - 0,25 m - Sable brun très pâle, (10 YR 7/3), (354).
Sable vert-olive clair.

- Coupe D. A 16 m de la coupe B et 0,70 m au dessus.
 - 0,23 m - Sable brun-grisâtre, (10 YR 5/2), renfermant de très nombreuses coquilles de gastéropodes, (352).
 - 0,17 m - Sable brun-grisâtre très foncé, (10 YR 3/2), (353).
 - 0,07 m - Sable jaune-verdâtre. Localement tâches sablo-argileuses.
 - 0,38 m - Argile gris clair, (5 Y 6/1), massive, non carbonaté, quelques fentes remplies de sable clair, (355).
 - Sable brun très pâle, (10 YR 7/3), non carbonaté, (356).

- Coupe E. A 25 m de la coupe D et 1,60 m plus haut.
 - 0,40 m - Sable gris.
 - 0,60 m - Sable noir.
 - 1,00 m - Sable brun pâle, (10 YR 6/3).
- Sable brun très pâle (10 YR 7/3), non carbonaté, (357).

- Ouadi de Kouroua Kouloufaya (13° 20' LN - 15° 29' LE).
 - Coupe A. A partir du fond de l'ouadi.
 - 4,30 m - Limon gris brunâtre clair, (10 YR 6/2), poudreux en surface, carbonaté, passant en profondeur à gris vert, agrégats parallélipédiques à faces luisantes, noircies, (413 à 2,00 m).
 - 0,70 m - Argile gris bleu, se débitant en petits polyèdres de 3 à 5 mm.
- Sable limoneux, gris-olive clair, (5 Y 6/2), (414).

 - Coupe B. A 5 m au-dessus du niveau de la coupe A
 - 0,50 m - Limon gris brunâtre clair, (10 YR 6/2), renfermant de nombreuses coquilles de gastéropodes, carbonaté.

- 1,00 m - Argile gris-olive sombre (humide 5 Y 3/2), se débitant en polyèdres à faces luisantes d'aspect savonneux.
- Sable gris clair, (10 YR 7/2), (415).

- Coupe C.

- 1,30 m - Sable gris.
- Sable brun très pâle sur plus de 2,90 m.

- Coupe D. À 1 m. au-dessus du niveau de la coupe C.

- Sable brun pâle, (10 YR 6/3), sur plus de 0,90 m, (416).

- Coupe E.

- Sable brun pâle, (10 YR 6/3), sur plus de 0,50 m, (417).

- Polder de Bol-Guini (13° 29'LN - 14°42'LE).

- Coupe A. Au fond du polder - Nappe à 0,99 m.

- 0,32 m - Argile sableuse faiblement carbonatée en surface.
- Argile gris-bleu, à structure prismatique fortement développée sur plus de 0,50 m.

- Coupe B. A une soixantaine de mètres de la coupe A - Nappe à 1,60 m.

- 0,14 m - Argile sableuse, noire, non carbonatée.
- 0,01 m - Sable clair.
- 1,25 m - Argile avec intercalations de nombreux lits sableux.
- Argile gris-bleu, à structure prismatique fortement développée, sur plus de 0,50 m.

- Coupe C. A 19 m de la coupe B - Nappe à 1,94 m.

- 0,17 m - Argile sableuse noire non carbonatée.
- 0,08 m - Sable beige clair.
- 0,08 m - Sable beige clair avec de nombreuses passées argileuses.
- Argile gris-bleu à structure polyédrique fine puis passant à une structure prismatique fortement développée, sur plus de 0,50 m.

- Coupe D. A 13 m de la coupe C - Nappe à 2,71 m.

- 0,57 m - Sable gris à noir en surface, clair à partir de 0,20 m.
- 0,35 m - Argile. Nombreuses fentes remplies de sable clair.
- 1,60 m - Argile gris-bleu.
- Sable.

- Coupe E. A 6 m de la coupe D - Nappe à 3,27 m.

- 0,48 m - Sable gris cendré puis beige à partir de 0,17 m.
- 0,82 m - Sable argileux.
- 0,50 m - Sable.
- 0,10 m - Argile sableuse.
- 0,40 m - Sable.
- Argile gris-bleu sur plus de 0,10 m.

- Coupe F. A 10 m de la coupe E.

- 0,20 m - Sable gris-brun.
- 0,46 m - Sable blanc.
- Sable gris clair légèrement olivâtre sur plus de 1,84 m.

- Coupe du puits de Kiritia (13° 35' LN - 15° 21' LE). A 6 km de Ngouri sur la piste de Massakory.

- 1,90 m - Limon sableux brun sombre, carbonaté, (611).
- 1,80 m - Sable brun clair, non carbonaté, (612).
- Argile limoneuse, bleu-vert (gris-clair à l'état sec), bien structurée, polyèdres à faces brillantes de l'ordre du cm, non carbonaté, sur plus de 1,30 m, (613).

A Kiritia le fond de l'ouadi semble correspondre à un ancien lit par lequel le lac s'écoulait vers le nord-est rejoignant le Bahr el Ghazal au nord de Massakory. A une douzaine de mètres au dessus du fond le sommet des dunes est aplani et forme plateau tandis que vers 4 ou 5 m. leur pente est marquée par un replat de plusieurs dizaines de mètres de large correspondant à un ancien niveau lacustre. Au sommet des dunes l'épaisseur de sable brun grisâtre (10YR 5/2) au dessus du sable blanc est de 1,35 m. elle n'est que de 0,95 m. sur le replat. La teneur en matière organique est de 0,8% au sommet (615), de 14,6% sur le replat (616) et de 6,4% dans le limon sableux de l'ouadi (611).

- Ouadi de Gala-Ngodoum (13° 45' LN - 15° 18' LE).

- Coupe A. Au fond de l'ouadi.

- 1,50 m - Limon brun-gris sombre, (10YR 4/2), (586), coquillier à partir de 0,70 m. (Coelatura lacini, Mutela dubia...), (587), nombreuses concrétions blanches, dures, carbonatées, à partir de 1 m, (588).

- 0,50 m - Limon argileux brun, nombreuses concrétions blanches carbonatées, (589).
- 1,30 m - Limon brun pâle carbonaté, (590 à 2,05 m., 591 à 2,65 m.).
- Sable gréseux, (592).
- Coupe B. Puits. Nappe à 11,10 m.
- 4,00 m - Limon argileux brun grisâtre, (IOYR 5/2), fortement carbonaté très riche en diatomées (CO₃ = 13%), (419 à 1 m., 420 à 2 m.).
- 0,60 m - Sable clair, rouille et gréseux au sommet, (597).
- 6,50 m - Limon argilo-sableux gris clair avec lits de sable brun clair, non carbonaté, (598).
- 2,00 m - Limon, verdâtre à l'état humide, gris clair à l'état sec; carbonaté au sommet, (599).
- Sable gris.
- Coupe C.
- 0,20 m - Dalle limono-calcaire. Surface découpée selon un système polygonal de 30 cm. environ. Dalle homogène en surface, plus grossière et cavernueuse en dessous. Nombreux gastéropodes (*Limicolaria* sp.), (421 et 593).
- 0,10 m - Limon brun pâle, carbonaté, nombreux gravillons gréseux de 0,5 à 3 cm, (422 et 594).
- Sable brun très pâle sur plus de 0,60 m, (423 et 595).
- Coupe D.
- 0,65 m - Sable devenant sablo-limoneux en profondeur, brun, (IOYR 4/3); non carbonaté. A la base apparition de trainées et tâches blanches carbonatées, (601 à 0,10 m., 602 à 0,55 m.).
- 0,70 m - Limon sableux carbonaté renfermant de très nombreuses concrétions blanchâtres, dures, irrégulières, à noyau noir ou rouille, (603 à 1 m.).
- Sable brun très pâle, (IOYR 7/3), carbonaté (604).
- Coupe E.
- 1,10 m - Sable brun-gris, non carbonaté. A la base sur 10 cm tâches et trainées blanches carbonatées, (605).
- 0,80 m - Limon sableux brun très pâle, non carbonaté, durci et renfermant des gravillons rouilles dans les 30 premiers centimètres, (606), meuble ensuite, (607).
- Sable limoneux brun clair, non carbonaté, (608).

L'ouadi de Gala-Ngodoum présente sur son versant sud-ouest, presque au sommet, une dalle de grès rouge sombre affleurant sur quelques mètres de large et environ 400 mètres de long. Son épaisseur, toujours faible, est d'une vingtaine de centimètres. Sous ce grès le sable est brun (7,5 YR 4/4) sur 30 cm. et renferme de nombreux gravillons noirs à rouille. Le sable devient ensuite brun-jaune sur 70 cm puis blanc. A 8 m. au dessus de la zone où il affleure, vers le sommet des dunes mortes bordant l'ouadi, le grès est recouvert par 0,50 m de sable rouge, plus loin il disparaît, sous 1,50 m. de sable rouge-jaunâtre (5YR 4/6), (418), et passe directement au sable blanc qui descend jusqu'à plus de 2,30 m. A 2 m. en contre bas de la dalle l'épaisseur du sable rouge au dessus du sable blanc est de 0,80 m., elle est de 2 m à 5 m sous la dalle, soit à 2 m. au dessus du fond de l'ouadi. Celui-ci n'est pas symétrique, son versant nord-est remonte plus doucement que le versant sud-ouest et présente, au tiers inférieur environ, un replat formé par une dalle limono-calcaire surmontant un sable limoneux riche en gravillons rouge sombre ou noir. Cette dalle renferme des coquilles de gastéropodes terrestres (*Limnicolaria* sp.), elle est entaillée par des ravineaux d'érosion pouvant atteindre 0,70 m. de profondeur.

Les échantillons de la coupe du puits, coupe B, renferment des diatomées. Celles-ci sont très abondantes dans les niveaux inférieurs et supérieurs (596 et 599), abondantes dans le niveau moyen (598). De très nombreuses diatomées se retrouvent encore dans le limon du replat du versant nord-est (607).

- Ouadi de Djou (13°44'LN - 14°24'LE).

- Coupe A. Sur la pente de l'ouadi, à 2 m. au dessus du fond (cote : 284,5 m.). Nappe à 1,95 m.
 - 0,10 m - Sable gris, meuble, carbonaté.
 - 0,30 m - Sable blanc, durci, carbonaté.
 - 0,14 m - Sable argileux, carbonaté.
 - 0,16 m - Sable brun clair, carbonaté.
 - 0,15 m - Sable argileux, carbonaté.
 - 1,25 m - Sable brun clair, faiblement carbonaté.
 - Sable argileux et argile sableuse sur plus de 1,60 m.

- Coupe B. En bas de pente de l'ouadi situé à 600 m. à l'ouest de Djou. Cote de la coupe : 283,7 m. Nappe à 1,60 m.
 - 0,95 m - Limon argileux brun foncé, gris sombre à l'état sec, carbonaté, nombreuses petites concrétions blanches, dures, de l'ordre du millimètre, (562), coquillier (*Limnea natalensis*, *Biomphalaria sudanica*...).
 - 0,55 m - Diatomite limoneuse, blanche, non carbonatée (563).
 - 0,10 m - Sable vert, gris clair à jaune pâle à l'état sec (5 YR 7/2).
 - Diatomite limoneuse, blanche, non carbonatée, sur plus de 1 m., (565).

A Djou plusieurs replats s'étagent au dessus du fond des ouadis. Des mesures de nivellement ont donné pour chacun d'eux les cotes suivantes :

- Sommet arasé des grandes dunes dominant tout le paysage : 304,9 m.
- Petit replat : entre 295,8 et 296,8 m.
- Grand replat : entre 290,5 et 292,0 m.
- Fond de l'ouadi de Djou : 282,5 m. (cote de référence communiquée par J.L.Schneider du B.R.G.M.).

Chacun de ces niveaux correspond à un stade de retrait du lac Tchad. Un niveau coquillier entre les cotes 286,2 et 288,5 m. indique un facies de bordure en eau peu profonde (échantillon 559) et rappelle celui observé dans la région de Bol entre les cotes 285 et 287 m.

III/3 Essai d'Interprétation

L'histoire sédimentaire de la bordure Nord-Est du Lac semble donc pouvoir se schématiser ainsi :

- une période sèche correspondant à un dépôt de sable fin dans le fond des ouadis jouant le rôle de piège à sable.
- une période humide, les ouadis sont inondés, une plage se forme à la cote 280-281 m. tandis que se déposent des limons. Le niveau de l'eau monte ensuite, au limon succède des argiles qui viennent recouvrir les plages précédemment formées. L'épaisseur d'argile atteint 2,50 m sans que l'on puisse affirmer que c'est là son maximum en raison de l'absence de forages au centre des ouadis et sur leur bordure Est (la dissymétrie des ouadis, plus profonds vers l'Est, a été mise en évidence dans les polders de Bol). Le climat est alors sensiblement voisin de l'actuel, ni trop aride, ni très humide, car dans l'un et l'autre cas il y aurait, mêlés à l'argile, des sables provenant des dunes entourant l'ouadi et transportés soit par ruissellement soit par le vent or l'argile est très pure (55%) et ne renferme jamais plus de 15% d'éléments supérieurs à 0,2 mm. La montée du niveau de l'eau est donc liée à un apport venu d'une région soumise à un climat nettement plus humide. Il paraît logique de faire venir cette masse d'eau du sud par le système Chari-Logone. Cette origine rend, d'autre part compte de l'importance de l'argile qui ne peut provenir du système dunaire lui-même.
- une période plus sèche avec arrêt de la sédimentation argileuse et dépôt de sable fin sur la bordure des ouadis. Ce sable qui provient des pentes mêmes des ouadis se met en place par gravité et forme une frange d'une dizaine de mètres de large allant en s'amincissant vers le centre.
- Au sable fait suite un niveau de limon argileux. Le climat humide favorise le développement de la végétation sur les dunes ce qui se traduit par l'arrêt du ruissellement et la présence dès la base du niveau limoneux de forte teneur en matière organique. Le niveau de l'eau s'élève dans les ouadis. La sédimentation limoneuse s'étend sur une zone dépassant largement celle couverte précédemment par l'argile, elle remonte sur les pentes des ouadis jusqu'à environ 1,50 m au-dessus du niveau du toit de l'argile. Localement, elle recouvre de petites buttes sableuses. Beaucoup plus au Nord on retrouve directement sur le sable un limon très semblable à des cotes voisines de 195 m. Une ceinture de roseaux et de papyrus entoure les ouadis dont les pentes sont couvertes par une végétation herbacée et arbustive (ce sable est enrichi en matière organique sur près de 20 cm, la plus forte teneur mesurée atteignant 2,5%). Cette ceinture végétale a favorisé le développement d'une faune abondante de Mollusques dont on retrouve les très nombreuses coquilles dans la partie supérieure du limon.

- Le niveau de l'eau dans les ouadis baisse ensuite jusqu'à l'assèchement complet au cours d'une période de retrait. Cet assèchement s'effectue semble-t-il en trois étapes, deux talus en forme de marche d'une trentaine de cm de haut ayant été creusés dans le limon à environ 0,50 m et 1,00 m sous le niveau maximum atteint par celui-ci. La marche la plus haute entaille parfois toute l'épaisseur du limon pour atteindre le sable sous-jacent. La seconde qui a la même importance mais se situe en contre bas ne l'atteint par contre jamais. L'assèchement provoque un enrichissement en sels du limon et dans la partie la plus haute, la formation, par évaporation à partir de la nappe, de concrétions salines et d'encroûtements autour de racines puis des tiges elles-mêmes, celles-ci jouant le rôle de mèches évaporatoires. Cet assèchement est un phénomène récent qui n'est d'ailleurs qu'inégalement réalisé, certains ouadis restant encore inondés soit durant la totalité de l'année, soit durant une partie de celle-ci seulement. Aucun dépôt de sable n'est encore venu recouvrir le limon ; les vents trop modérés ne déplacent plus les dunes fixées par une mince végétation.

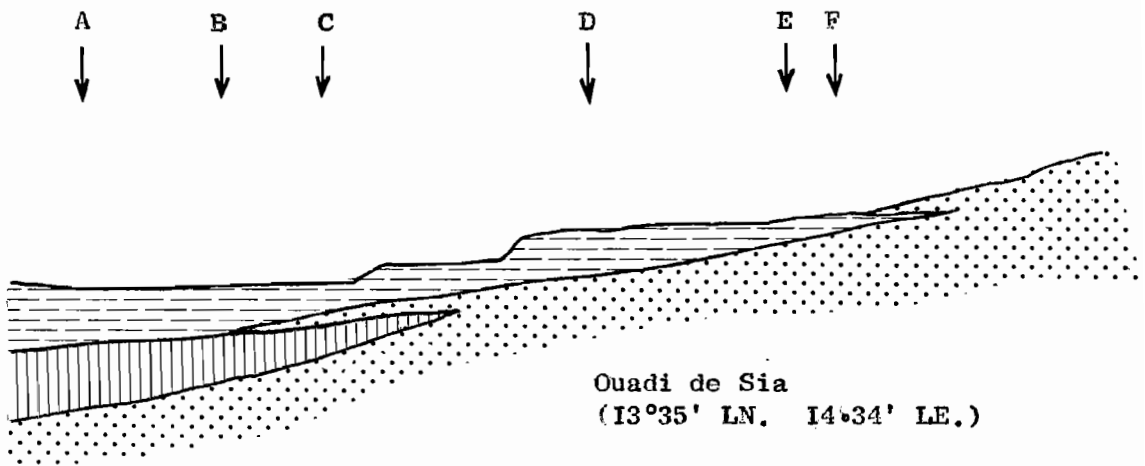
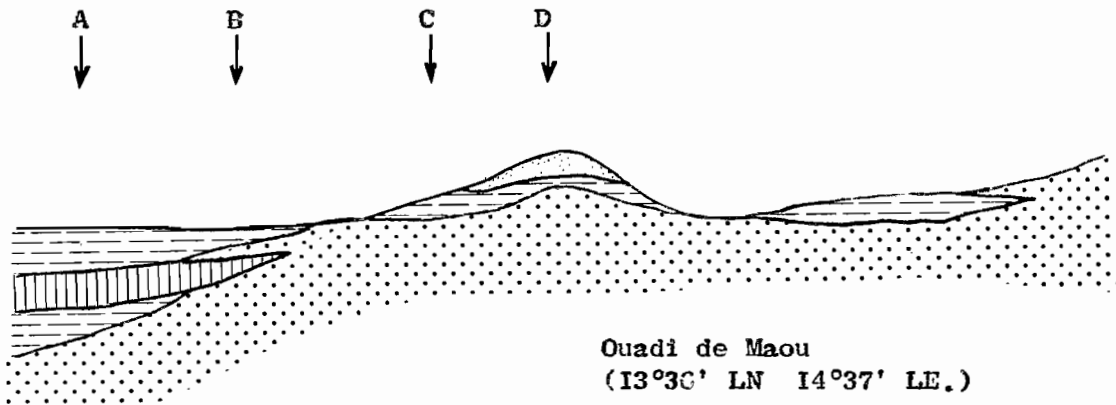
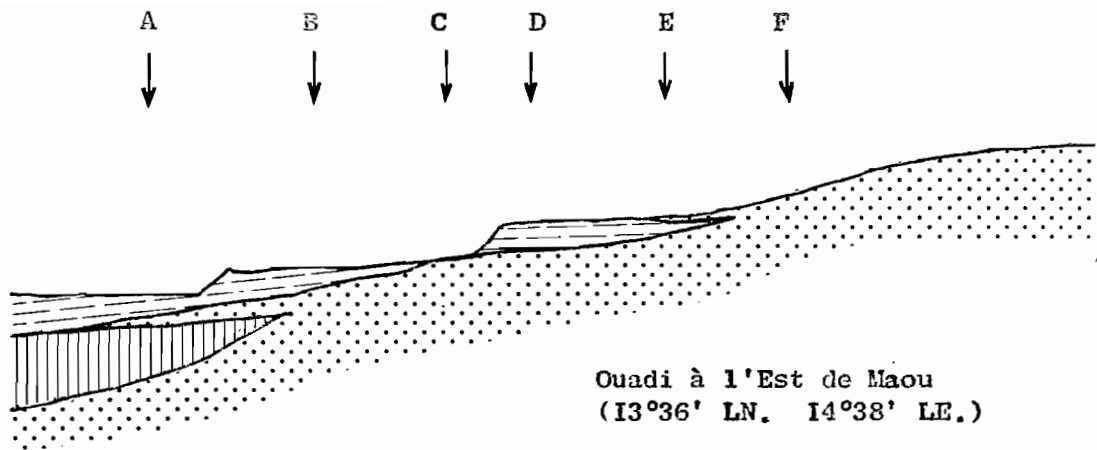


Fig. 5

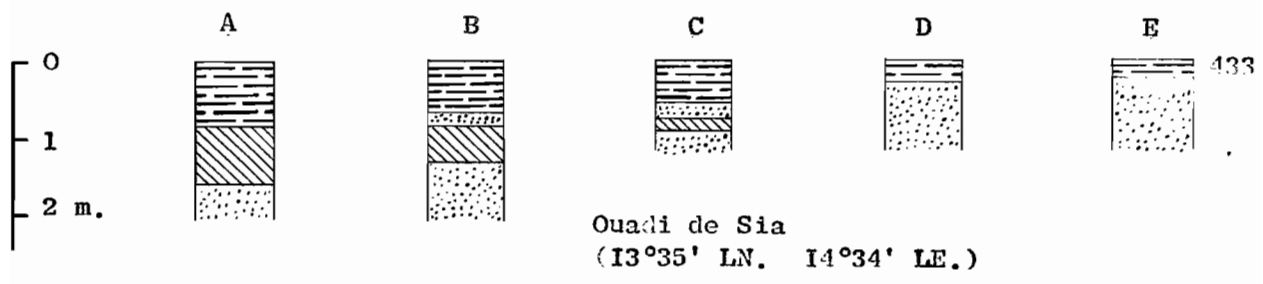
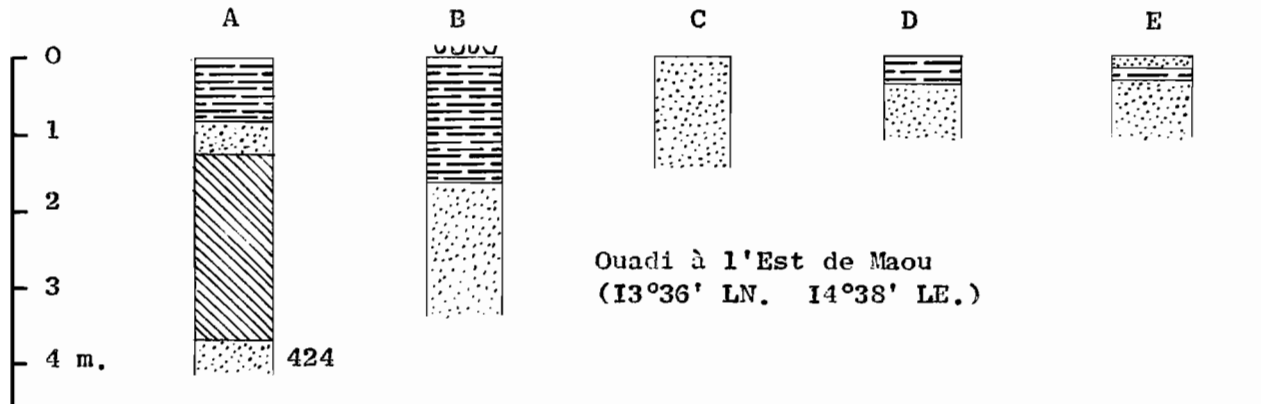
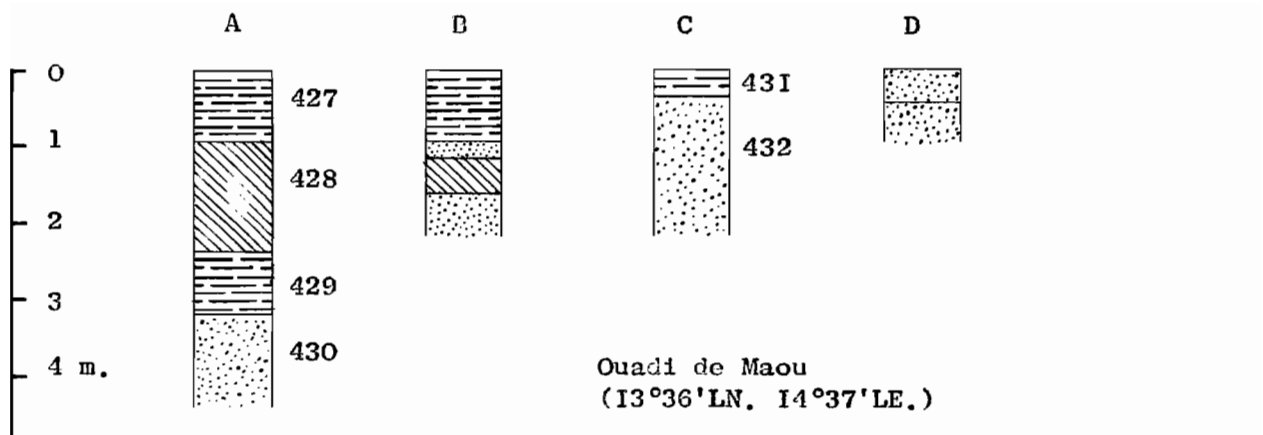
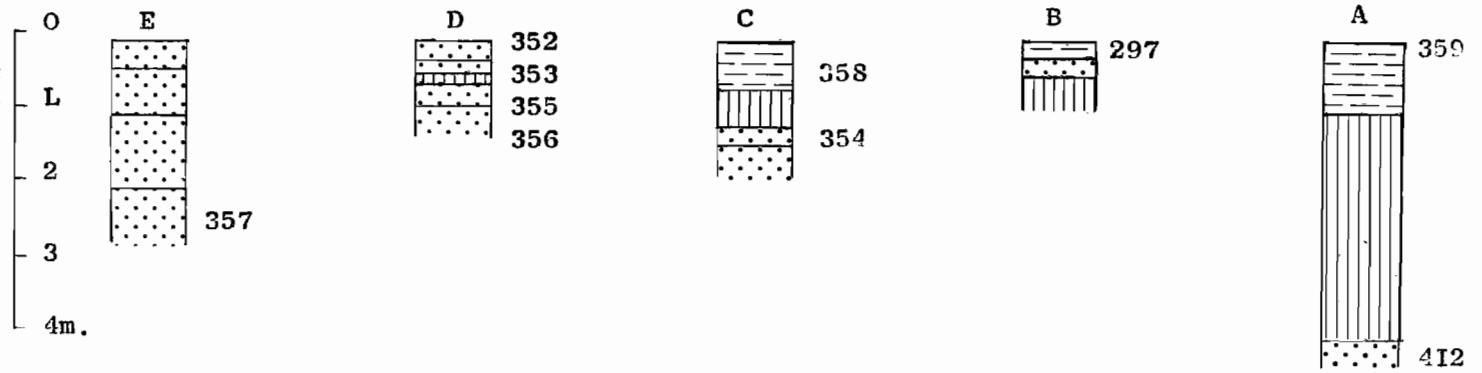
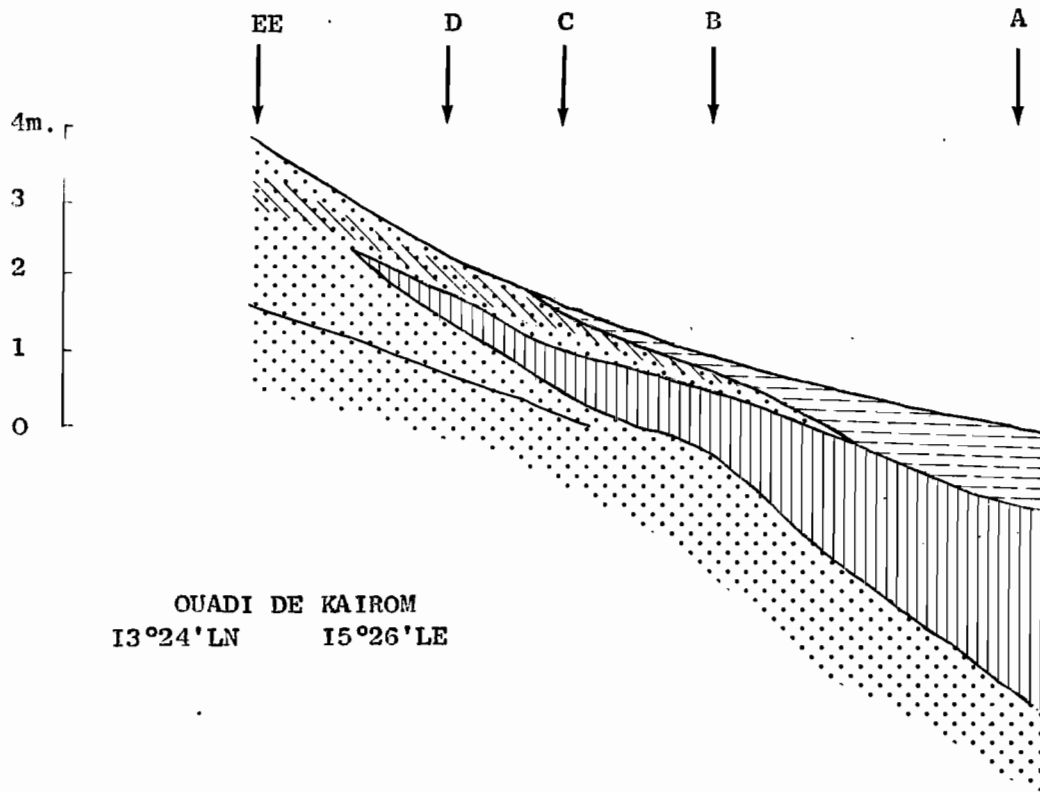


Fig. 6




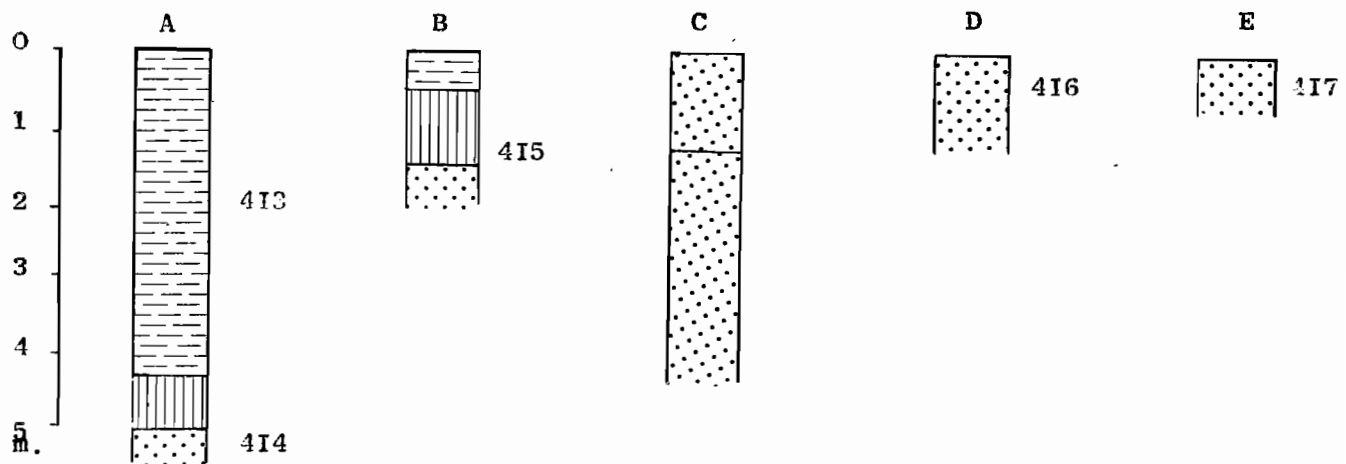
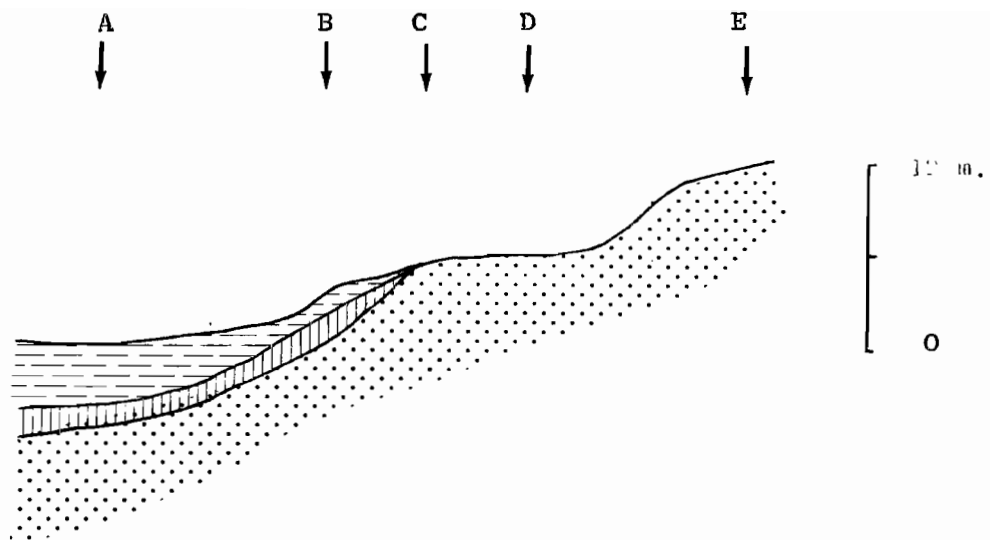
 Niveau enrichi en matière organique

Fig. 7



OUADI DE KOUROUA-KOULOUFAYA (13°20'LN. 15°29'LE)

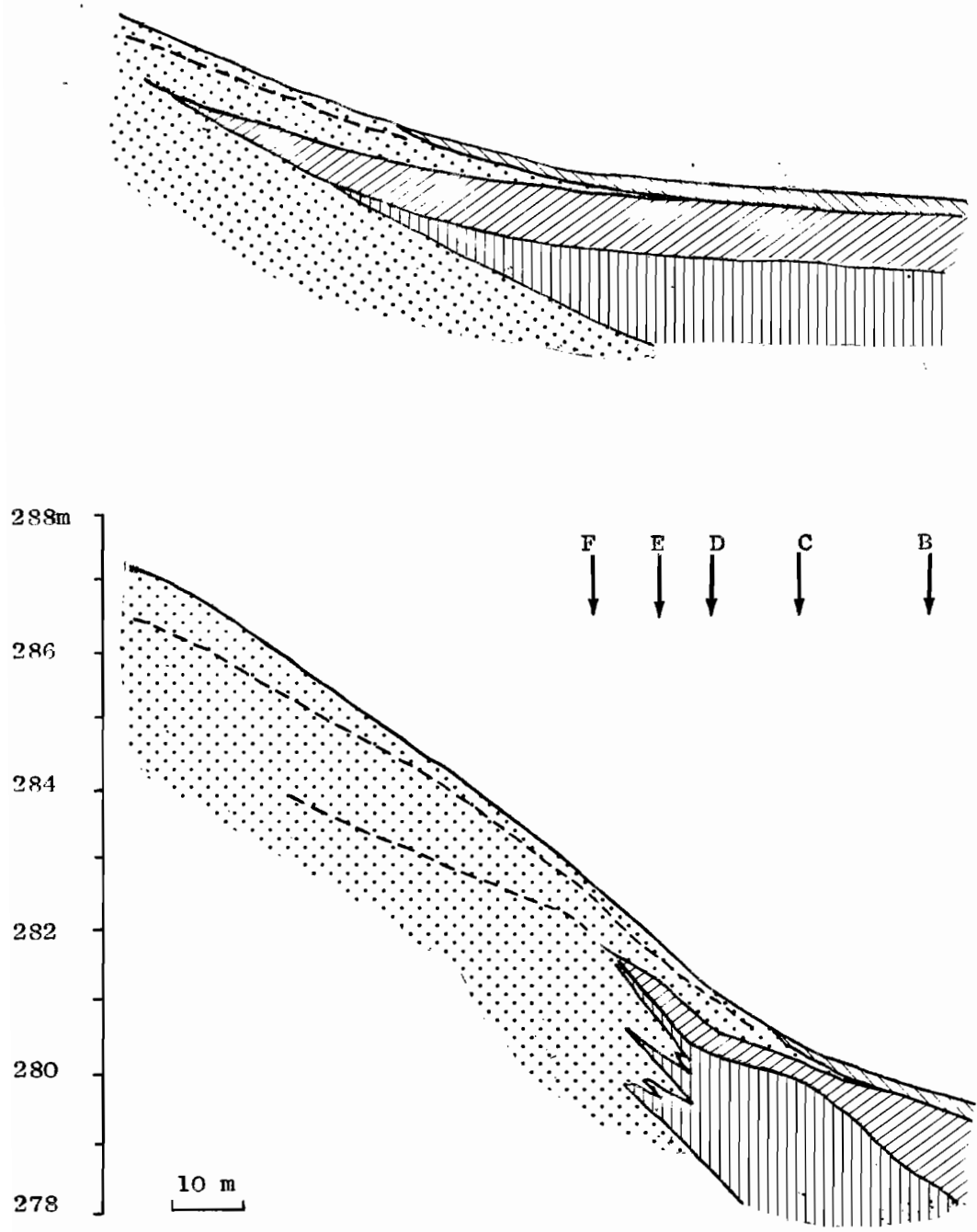


Fig. 9 POLDER DE BOL-GUINI



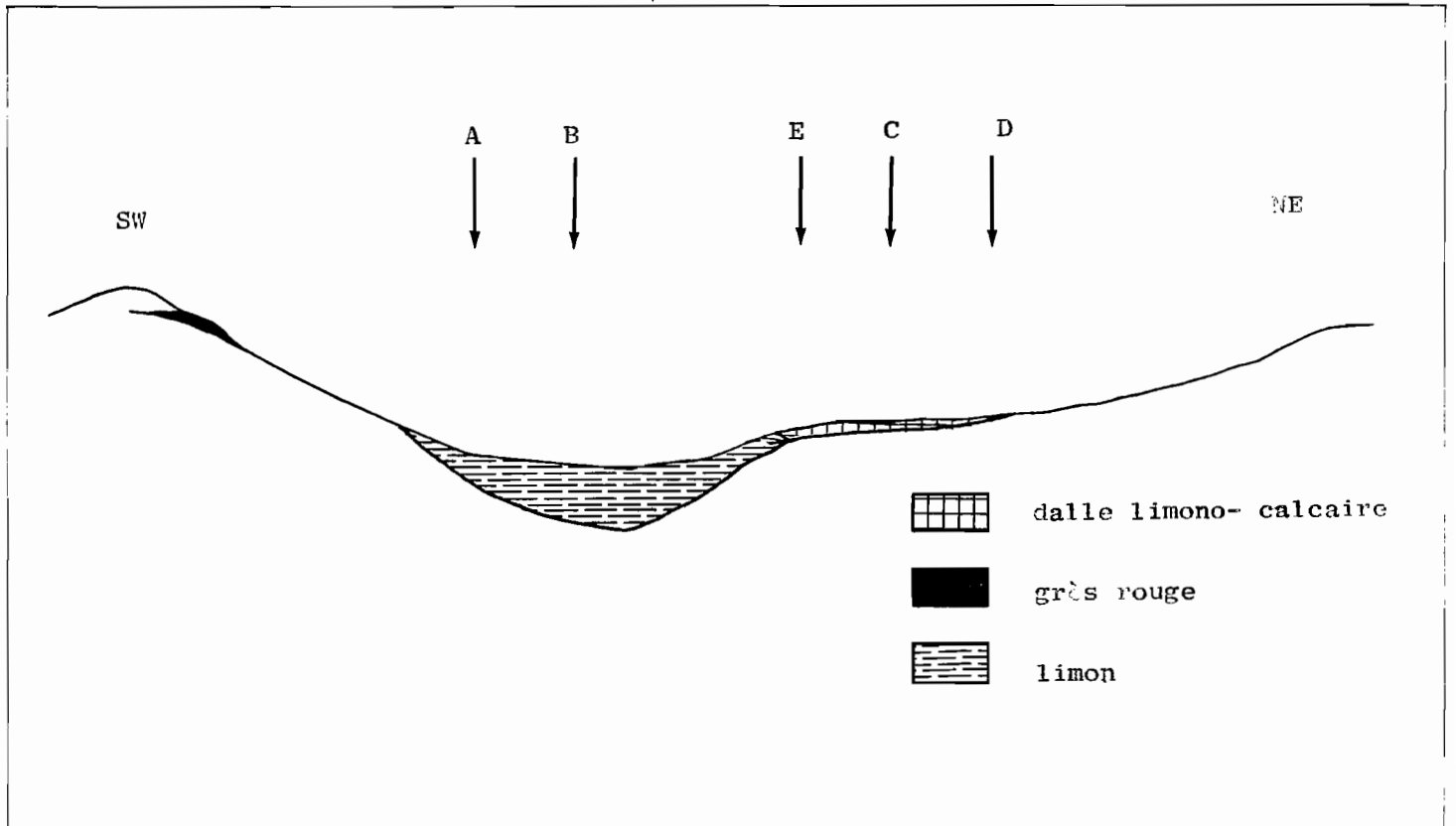


Fig. 10 OUADI DE GALL-NGODOUM : EMPLACEMENTS DES COUPES

IV. ETUDE DE QUELQUES NATRONIERES DE LA
BORDURE NORD-EST DU LAC TCHAD

=====

IV/I Introduction.

Les natronières étudiées se situent sur la bordure nord-est du lac, à une dizaine de kilomètres de celui-ci, autour de Kaya (13° 14' LN - 14° 16' LE.) et à Liwa (15° 33' LN - 14° 16' LE.).

Ces natronières se présentent sous forme de dépressions à fond très plat correspondant aux interdunes d'un ancien erg aujourd'hui fixé. Leurs pentes souvent assez raides peuvent atteindre 15°. De forme variable mais habituellement allongées dans le sens NNW - SSE elles mesurent quelques centaines de mètres (Kaya : 600 x 200 m, Kolokoko : 800 x 600 m) pour une dénivelée d'une dizaine de mètres. Alors qu'à la surface de l'erg ne poussent que quelques acacias et une maigre végétation graminéenne, une ceinture de rôniers (*Borassus ethiopum*) et de palmiers-doums (*Hyphaene thebaica*) couvre la pente des ouadis dont le fond reste nu sauf dans le cas des moins natronés qui portent sur leur bordure un tapis graminéen (*Cynodon daectylon*) et parfois, comme à Latir, des joncs (*Juncus maritimus*).

Toute une série de sondages à la tarière ont été effectués dans ces ouadis pour essayer de préciser la nature des dépôts sédimentaires ainsi que leur ordre de succession et leur raccord avec l'erg.

IV/2 Description des coupes.

- Ouadi de Kaya

- Coupe A. En bas de pente. Nappe à 0,80 m.
 - 1,30 m - Sable fin, éolien, brun très pâle.
 - 0,20 m - Limon sableux brun sombre.
 - Sable fin, gris à noir, sur plus de 0,80 m.

- Coupe B. Au fond de l'ouadi, à 10 m de la coupe A et environ 0,30 m plus bas.
 - 0,05 m - Sel blanc en poudre, (531).
 - 0,95 m - Limon vert clair (532) avec intercalation d'un niveau sableux entre 0,50 et 0,70 m.
 - Argile noire, carbonatée, dégageant une forte odeur sulfureuse avec HCL. (435).

.... (Les numéros entre parenthèses renvoient d'une part à la teinte du code Munsell, d'autre part aux échantillons. Les numéros soulignés sont ceux des échantillons dont les résultats d'analyse sont donnés en annexe).

- Coupe C. Au fond de l'ouadi, à 30 m de la coupe B et au même niveau.
 - 0,05 m - Sel blanc en poudre.
 - 0,85 m - Argile limoneuse brune, (534), renfermant des petits amas et des cristaux de sel de l'ordre du centimètre (530 et 533).
 - 0,60 m - Argile sableuse verdâtre, (331).
 - Argile noire dégageant une forte odeur sulfureuse avec HCL. Sur plus de 2,80 m. (332, 535 entre 1,50 et 1,70 m., 536 entre 2,00 et 2,20 m.).

- Ouadi d'Andjia. (à 1 km. environ au N.NE. de Kaya).

- Coupe D. Au fond de l'ouadi, nappe à 1,20 m.
 - 0,06 m - Croûte et poudre de sel blanc-jaunâtre, (537, 334).
 - 0,54 m - Limon sableux gris clair, carbonaté, plus limoneux en profondeur, (335, 538 vers le haut, 539 à la base).
 - 0,10 m - Sable clair, fin.
 - 1,00 m - Argile limoneuse gris-vert sombre, faiblement carbonatée. (540 au sommet, 541 à la base).
 - 1,30 m - Argile gris olive, (5Y4/2), (542 au sommet, 543 à la base).
 - Sable fin gris olive clair, (5Y6/2), sur plus de 0,50 m (333, 544).

- Ouadi de Kolokoko (à 5,400 km au nord de Kaya.)

- Coupe E. En bas de pente dans le fond de l'ouadi.
 - 1,10 m - Sable limoneux brun gris (10YR 5/2), (538).
 - Sable sur plus de 0,50 m.
- Coupe F. A 10 m. de la coupe E, vers le centre de l'ouadi. Nappe à 0,75 m.
 - 1,00 m - Limon brun passant à bleu verdâtre au niveau de la nappe.
 - Sable bleu-verdâtre devenant gris-bleu en profondeur, sur plus de 1,30 m.

.../...

- Coupe G. A 10 m. de la coupe F, vers le centre de l'ouadi.
Nappe à 0,54 m.
 - 0,60 m - Limon brun.
 - 2,00 m - Argile sableuse bleu-verdâtre, devenant limoneuse en profondeur et renfermant des amas de cristaux de sel de un à quelques millimètres, (437).
 - Sable gris sur plus de 0,50 m.

- Coupe H. A 10 m. de la coupe G, vers le centre de l'ouadi.
Nappe à 1,20 m.
 - 0,02 m - Sel pulvérulent, blanc.
 - 3,80 m - Limon argileux brun devenant gris-bleu en profondeur puis gris-noir et renfermant des amas de cristaux de sel de un à quelques millimètres.
 - Sable gris sur plus de 0,50 m.

- Ouadi de Latir (A 16 km. environ au nord de Bol, à l'ouest de la piste de Mao. Cet ouadi n'est pas exploité en natronnière).

- Coupe I. Au fond de l'ouadi et sur sa bordure. Nappe à 0,80 m.
 - Croûte de sel de 8 mm. environ, se découpant en écailles selon un système grossièrement polygonal d'une cinquantaine de cm. de côté, chacune des écailles se soulevant sur ses bords. En dessous, sel blanc en poudre sur quelques mm.
 - 0,20 m - Sable limoneux brun très sombre, (YOYR 6/2 à l'état sec), fortement carbonaté, (316).
 - 0,80 m - Sable limoneux avec intercalations de niveaux tourbeux renfermant des coquilles de gastéropodes (*Biomphalaria pfeifferi*, *Bulinus truncatus*), (317).
 - 0,75 m - Argile limoneuse gris-clair, (318).
 - 0,95 m - Argile sableuse brun foncé (2,5Y 6/2 à l'état sec), carbonaté, (319).
 - 1,30 m - Sable limoneux brun foncé avec intercalations de lits de sable clair, carbonaté, (320).
 - Limon sableux verdâtre sur plus de 0,40 m. (321).

Les échantillons 322, 316 et 317 renferment quelques diatomées très fragmentées. Elles sont nombreuses et fragmentées dans les échantillons 319, 320 et 321.

- Ouadi de Latir. (A l'est de la piste de Mao).

Le fond de cet ouadi est occupé par une mare qui ne s'assèche que quelques mois par an à la fin de la saison sèche. La dénivelée totale entre le sommet des dunes bordant l'ouadi et le fond de celui-ci est de 8 m.

- Coupe J. A 0,70 m. au dessus du fond de l'ouadi, en bas de pente.
 - 1,00 m - Sable limoneux gris (IOYR 6/1), fortement carbonaté, (304), devenant plus limoneux en profondeur, (305).
 - 0,75 m - Sable gris clair, carbonaté, (306).
 - Tourbe argileuse noire sur plus de 0,30 m, (307).

- Coupe K. Au fond de l'ouadi. Nappe à 1,76 m.
 - 1,00 m. - Limon sableux brun très sombre (humide : IOYR 2/2, sec : IOYR 6/2 passant en profondeur à brun gris (humide : IOYR 5/2), fortement carbonaté, (465).
 - 1,00 m - Argile gris clair (humide : 2,5Y 7/10), blanche à l'état sec, fortement carbonatée, (466).
 - 1,10 m - Sable limoneux brun-gris foncé (humide : IOYR 4/2, sec IOYR 6/1) passant en profondeur à gris olive sombre (humide : 5Y 3/2), faiblement carbonaté, (467).
 - Lit de sable fin brun-gris clair, (468).
 - 0,30 m - Sable limoneux noir à verdâtre (humide : 5Y 2/2, sec : IOYR 5/1), carbonaté, (469).
 - Sable gris clair (sec : 2,5Y 6/2), fin, non carbonaté, (470).

L'échantillon 465 renferme quelques-diatomées ainsi que le 466, ce dernier contenant de plus des spicules d'éponge. Les échantillons 467 et 469 renferment de très nombreuses diatomées dont 80% de Melosira environ. Les niveaux sableux 468 et 470 n'en renferment pas.

- Ouadi de Liwa (15°53'LN-14°16'LE).

- Coupe L - Au fond de l'ouadi (cote : 277,5 m).
 - 0,10 m - Sable brun clair, fin à moyen.
 - 2,00 m - Argile limoneuse brun très pale.
 - Sable.

- Coupe M Sur la pente de l'ouadi à 10 m de la coupe A.
 - 0,15 m - Sable brun clair, fin à moyen.
 - 0,95 m - Argile limoneuse brun très pale.
 - 0,45 m - Sable.
 - 0,10 m - Argile sableuse.
 - Sable sur plus de 0,65 m.

- Coupe N A 1,74 m au dessus du fond de l'ouadi.
 - 0,09 m. - Argile limoneuse brun très pale, carbonatée (552).
 - 0,03m - Lit de sable.
 - 0,26 m - Argile sableuse gris-vert (5Y 5/3), très faiblement carbonatée, (553).
 - 0,37 m - Argile bleu-vert (5Y 7/2 à l'état sec), très bien structurée, prismes allongés verticalement, faces planes, grasses. Faiblement carbonatée, (554).

0,31 m - Nombreuses petites lentilles de sable et d'argile, jaune pâle (5Y 7/3), sans aucune structure, non carbonatés, (556).

- Sable limoneux, blanc, coquillier, faiblement carbonaté, sur plus de 0,60 m, (557).

Seul de tous les échantillons de cette coupe le numéro 554 renfermait des diatomées en petite quantité.

- Coupe O.

0,70 m - Sable limoneux brun gris.

0,20 m - Argile bleu-vert, bien structurée, passant en profondeur à une argile sableuse plus sombre.

- Sable coquillier devenant argileux en profondeur, sur plus de 1,80 m.

- Coupe P. A 4,50 m. au dessus du fond de l'ouadi.

0,60 m. - Limon sableux gris brun clair (IOYR 6/2) sur 0,18 m, (547) puis blanc sur 0,14 m. et noir sur 0,08 m, (548). De nouveau gris clair (2,5Y 7/2) avec de petites concrétions blanches, (549). Carbonatés

0,24 m - Argile vert sombre à noir (5Y 2/2 à l'état humide), très compact, très faiblement feuilletée, polyèdres à faces brillantes de l'ordre du cm. non carbonatés dans la masse, faiblement carbonatés sur les faces; Fentes de retrait remplies de sable. Limite supérieure brutale et régulière. (550).

- Sable brun jaune clair, non carbonaté, argileux et consolidé sur les 2 ou 3 premiers centimètres (551 à 1,00 m., 558 à 2,50 m.).

- Coupe Q, à 6,40 m. au dessus du fond de l'ouadi.

0,30 m - Sable brun gris avec des nodules de 0,5 à 2 mm., sphériques, à structure concentrique, carbonaté (545).

0,10 m - Sable brun gris avec nombreuses concrétions presque jointives formant croûte. Localement ces concrétions forment des sortes de champignons à l'aspect mamelonné dépassant de 20 à 30 cm. au dessus du sol. (546).

- Sable brun clair sur plus de 1,00 m.

IV/3. Interprétation.

Les coupes des natronières ne diffèrent pas de celles décrites dans les autres ouadis de la bordure du lac, leur interprétation n'est donc pas reprise ici. La présence de sels en fortes concentrations se traduit, en plus de l'existence de cristaux individualisés, par un touché plus limoneux, plus plastique, des sédiments et par des variations moins brutales entre les différents niveaux des coupes.

IV/4. Etude de la conductivité.

La conductivité a été mesurée sur le terrain avec un conductivimètre Chauvin et Arnoux. Alors que dans les ouadis elle reste inférieure à 0,70 millimho, elle dépasse très largement cette valeur dans les natronières. Pour ces dernières on a mesuré la conductivité de l'eau des puits situés sur leur bordure et, lorsque cela a été possible, celle des saumures des mares. Dans quelques cas on a également mesuré la conductivité de l'eau de la nappe atteinte par forage à la tarière,

L'étude de la conductivité en fonction de la profondeur dans l'ouadi de Latir montre qu'après des valeurs élevées en surface, liées à la formation de croûte ou d'efflorescences salines, la conductivité diminue rapidement jusque vers 2 m., elle augmente ensuite, passe par un maximum et décroît de nouveau en profondeur.

Le maximum observé vers 2 ou 3 m. ne paraît pas lié à une texture particulière du matériau. Une seule mesure du niveau de la nappe faite au moment de l'étude des coupes (13.12.1966 pour la coupe J, 17.12.1966 pour la coupe I, 3.5.1966 pour la coupe K et 17.11.1966 pour les coupes de Kaya et Andjia) ne permet pas de situer avec précision, par rapport à la nappe, le maximum de conductivité. Celui-ci semble toutefois, même en saison sèche, rester sous le niveau le plus bas de la nappe.

La teneur en carbonates décroît avec la profondeur pour atteindre des valeurs très voisines de 0 au niveau du maximum de conductivité.

Ces premiers résultats ont été confirmés lors de l'étude des natronières de Kaya et Andjia.

(La conductivité des échantillons de terre est mesurée sur une dilution dans l'eau après agitation et contact pendant 24 heures).

Conductivité des eaux des Natronières

Origine	Nature	Date	t°eau	t° air	C	P	pH
Kaya	saumure	25. 4.66	27,0		40,00		
Kaya	puits	25. 4.66	26,8		4,20	0,55	
Kaya	puits	11.11.66	26,8		4,51		
Andjia	puits	25. 4.66	27,2		7,90	0,45	
Andjia	puits	11.11.66	26,8		1,29		
Bedara	puits	25. 4.66	28,0	37,0	1,85	2,00	
Bedara	saumure	25. 4.66	47,0	37,0	57,00		9,8
Bedara	puits	11.11.66	26,4		1,88		
Bedara	forage	11.11.66	27,3		53,00		
Bedara	forage	11.11.66	26,8		17,10		
Bedara	saumure	11.11.66	28,8		82,60		
Mayala	puits	25. 4.66	29,8	34,0	0,65	1,10	
KolokoKo	puits	25. 4.66	27,0	32,0	1,76	0,90	
Liwa	puits 1	10.11.66	29,0		2,42	1,30	
Liwa	puits 2	11.11.66	22,6		2,75	0,10	8,4
Liwa	puits 3	10.11.66	28,0		19,00		
Liwa	forage	18.11.66	23,0		3,32	0,10	
Liwa	forage	18.11.66	23,2		9,22	1,30	
Liwa	saumure	18.11.66	26,0		17,40		
Liwa	saumure	10.11.66	23,6		22,90		
Latir	mare	3. 5.66	27,6	38,0	2,64	0,19	
Baga Sola	lac	12.11.66	23,0		0,18		
Bol	lac	30. 7.65	31,0		0,24		7,4

C = conductivité en millimhos à 25°.

P = profondeur en mètres.

(les mesures ont été faites sur le terrain au moment du prélèvement).

Tableau I

Variation de la Conductivité avec la profondeur.

Latir Coupe I. (dilution au I/2). Nappe à 0,80 m

Nº	Profondeur en mètres	Conductivité en millimhos	CO2 ml/gr	Nature
316	0,10	1,2	55	Sablo-limoneux
317	0,35	0,3		Sablo-limoneux
318	1,30	0,3		Argilo-sableux
319	2,25	2,6	10	Sablo-limoneux
320	3,10	2,9	3,4	Sablo-limoneux
321	4,60	1,1		Sablo-limoneux

Latir. Coupe J. (dilution au I/3). Nappe à 0,60 m.

Nº	Profondeur en mètres	Conductivité en millimhos	CO2 ml/gr.	Nature
	0,00	1,00		
304	0,25	0,47	90	Sablo-limoneux
305	0,65	0,32	9,4	Sablo-limoneux
306	1,25	0,19		Sable
307	2,00	0,75	1,3	Argile tourbeuse

Latir. Coupe K (dilution au I/10). Nappe à 1,76 m.

Nº	Profondeur en mètres	Conductivité en millimhos	CO2 ml/gr	Nature
465	0,50	0,32	53,3	Limon
466	1,50	0,25	50,0	Limon
467	2,50	0,98	4,5	Limon
469	3,25	0,73	4,1	Sablo-limoneux
470	3,50	0,11	0,6	Sable

Tableau 2

Variation de la Conductivité avec la Profondeur (Suite).

Kaya

(dilution au 1/30)

Nappe à 0,90 m.

N°	Profondeur en mètres	Conductivité en micromhos	Nature
531	0,05	18,7	Croûte
532	0,10	11,8	Limon sableux
534	1,00	13,8	Limon argileux
535	1,60	13,6	Limon argileux
536	2,10	15,6	Limon argileux

Andjia

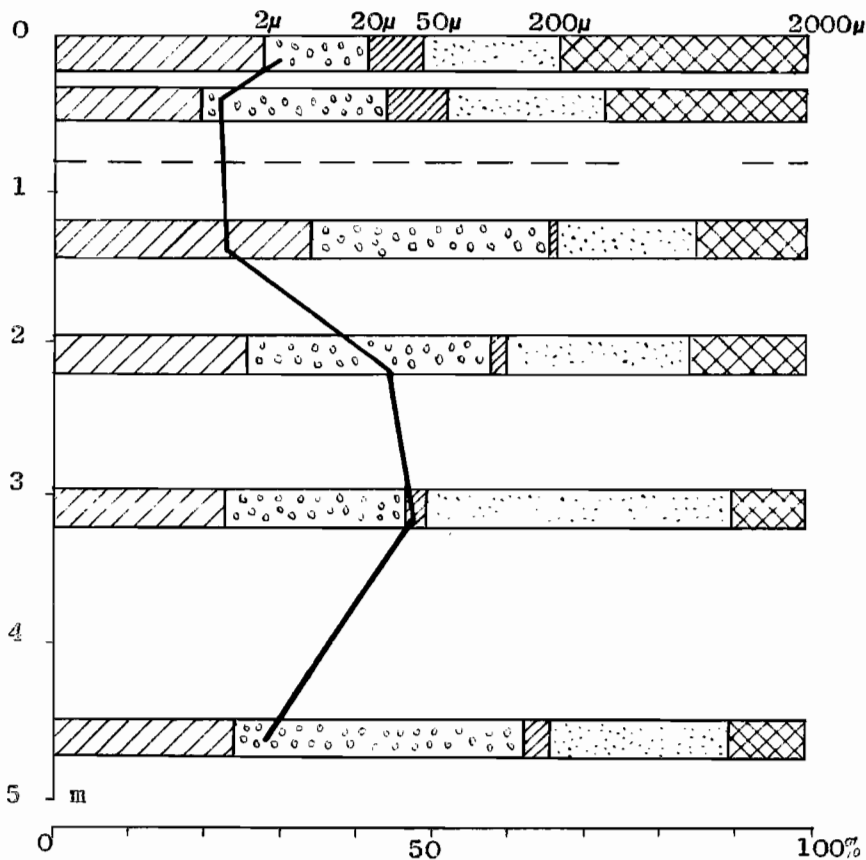
(dilution au 1/30)

Nappe non atteinte

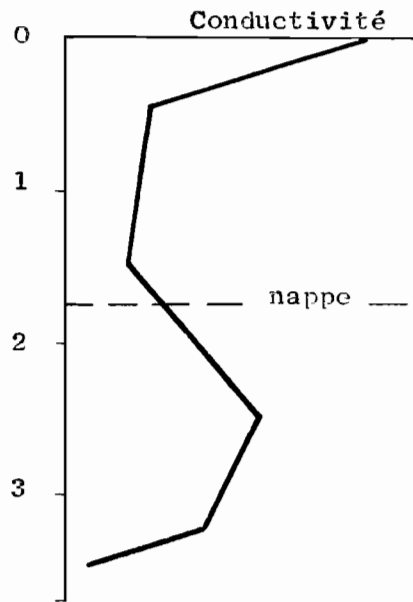
N°	Profondeur en mètres	Conductivité en micromhos	Nature
537	surface	17,2	Croûte
538	0,05	9,2	Limon sableux
539	0,55	4,3	Limon
540	1,00	4,8	Limon argileux
541	1,50	4,3	Argile limoneuse
542	1,95	5,1	Argile
543	2,50	5,2	Argile
544	2,95	12,6	Sable

tableau 2 (suite)

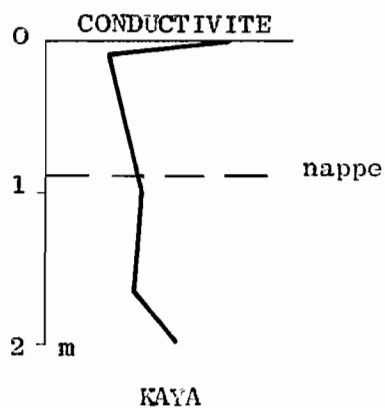
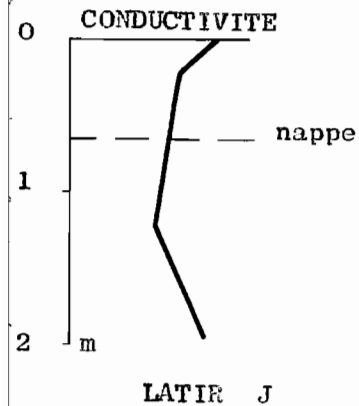
Fig.11 VARIATION DE LA CONDUCTIVITE AVEC LA PROFONDEUR



LATIR COUPE J.



LATIR COUPE K.



IV/5. Analyse de l'eau des natronières.

Quelques échantillons d'eau des natronières ont été analysés au laboratoire de Fort-Lamy au cours d'une phase de mise au point des méthodes. Les résultats sont donnés ici à seul titre indicatif.

Trois échantillons correspondent à des eaux du lac :

N° 20 = eau de l'archipel (station météo de Bol-file).

N° 17 = eau d'un bras de l'archipel isolé du lac.

N° 56 = eau d'un bras de l'archipel isolé du lac.

et sont donnés comme termes de comparaison.

Numéro	20	18	17	56	13	42
Origine	Bol lac	Latir ouadi	Ngéléa lac	Isseirom lac	Andjia natronière	Bédara natronière
Prélevé le	22.12.65	17.12.65	21.12.65	8.5.66	20.12.65	25. 4.66
Analysé le	27.12.65	27.12.65	27.12.65	14.5.66	27.12.65	14. 5.66
pH	8,3	8,9	9,9	9,6	10	9,8
Conductivité	0,1	0,7	56	7,5	62	75
Cl	0	0,1	47	6	0	0
SO4	0	0,4	10,4	12,5	113	18,9
HCO3	1,5	6,8	208	44	183	742
CO3	0	0,8	500	34	694	4770
HCO3 + CO3	1,5	7,6	708	78	877	5512
Total anions	1,5	8,1	765,4	96,5	890	5530
Ca	0,5	2,4	0,4	0,4	0,4	1,2
Mg	0,4	0,8	0,2	0,2	0,2	0,8
Na	0,35	3,7	742	84,0	920	5500
K	0,15	1,2	42	6,6	40	2100
Na + K	0,50	4,9	784	90,6	960	7600
Total cations	1,4	8,1	784,6	91,2	960,6	7602

(Résultats exprimés en milliéquivalents par litre.
Conductivité, mesurée au laboratoire, en millimhos à 25°)

Le natron, ce terme étant pris ici au sens large, se dépose dans les ouadis par remontées capillaires à partir de la nappe et évaporation à partir des saumures. Il se présente sous forme de croûtes, d'amas cristallins et d'efflorescences qui se réduisent en poudre à la moindre pression (passage du bétail....).

A Bédara, en avril 1966, la nappe était sub-affleurante. Sur le limon sableux noir saturé d'eau reposait une croûte dure, massive, transparente ou jaunâtre de 5 cm. d'épaisseur environ (échantillon 436-1). Au-dessus de cette croûte, une seconde formée par la juxtaposition d'aiguilles blanches ou incolores de 1 à 2 cm. de long, disposées perpendiculairement à la surface (échantillon 436-2). Surmontant ces deux couches une pellicule de 0,5 cm environ, blanchâtre, se boursouflant et se morcelant en petits éléments de 5 à 10 cm (échantillon 436-3).

A Andjia en décembre 1965 le limon sableux du fond de l'ouadi renfermait des amas cristallins se présentant sous l'aspect de boules formées de cristaux disposés selon une structure rayonnante à partir du centre et pouvant atteindre 8 à 15 cm. de diamètre, parfois davantage. Vers l'extérieur les cristaux mesuraient jusqu'à 1 à 2 mm. de large. Ces boules se retrouvaient à diverses profondeurs et jusque sous le niveau de la nappe située à 1,20 m. lors de l'observation (20.12.1965). A cette date un tiers de l'ouadi était encore exploité. En Avril 1966 l'exploitation avait cessé et l'ouadi était abandonné. Elle n'avait pas repris en décembre 1966.

L'ouadi de Kaya. inexploité en décembre 1965, a recommencé à l'être le 24 Avril 1966. La nappe était alors à 0,55 m de profondeur. Le natron se présentait sous trois aspects :

- une poudre blanche à la surface du limon sableux. Recueillie par grattage à l'aide de morceaux de callebasse ou de poterie, cette poudre plus ou moins grossière, renfermant toujours une certaine quantité de sable, était additionnée d'eau puis façonnée en plaques ovales de 0,60 m. sur 1,20 m. environ et de 10 à 20 cm d'épaisseur.
- des amas de cristaux en forme de boules dans le limon sableux. Ces boules étaient recueillies pour être vendues telles quelles ou réduites en poudre et façonnées en plaques comme précédemment.
- une croûte de 15 à 20 cm. d'épaisseur, résistante, jaunâtre à environ 10 cm. sous la surface de l'ouadi (avril 1966). Cette croûte était découpée directement en forme de plaque ovale de la taille de celles précédemment décrites à l'aide d'un pieu de bois renforcé à son extrémité par une pointe de fer. Les plaques étaient ensuite soulevées à l'aide des pieux utilisés comme leviers, puis retaillées à la hachette. Les déchets broyés étaient utilisés pour confectionner d'autres plaques de sels.

En décembre 1966 l'exploitation du natron n'avait pas encore recommencé.

Les natronières de Bédara n'étaient pas exploitées en décembre 1965 mais l'avaient été quelques mois auparavant. Celles de Mayala et de Kolokoko n'ont pas été exploitées en 1965.

On trouve fréquemment sur le bord des ouadis natronés en bas de pente des concrétions grossièrement cylindriques d'aspect mamelonné en choux-fleurs. A Sia elles ont une vingtaine de centimètres de haut. A Bédara elles atteignent 0,80 m. pour un diamètre à la base de 0,60 m. A Liwa elles mesurent entre 0,60 m et 1,00 m à mi-pente de l'ouadi. En bas de pente elles peuvent atteindre 1,20 m de haut et plus de 2,50 m de large. Elles s'enracinent actuellement dans le sol (limon sableux) sur 10 à 20 cm mais cet enracinement était autrefois, avant l'érosion du sol, plus important d'au moins une trentaine de centimètres. En coupe, parallèlement au niveau du sol, elles présentent une structure concentrique grossière.

Ces concrétions paraissent s'être formées autour des racines et des troncs des ronniers, ceux-ci jouant le rôle de nêche d'évaporation. Des encroûtements se forment actuellement de cette façon autour des pieux de bois enfoncés dans les ouadis pour y appuyer les plaques de natron. Dans le sol, autour de ces concrétions, on en trouve de très nombreuses de petite taille, un à quelques millimètres, sphériques, plus ou moins allongées et contournées, parfois assemblées par deux ou trois.

Les analyses dont les résultats sont donnés ci-après ont été faites au laboratoire de Fort-Lamy à partir d'échantillons de 1 litre d'eau distillée dans lesquels on avait dissout 1 gr de sel préalablement broyé et séché à l'étuve à 105°.

Analyse ionique d'échantillons de "natron".

Echantillon	322 (70)	334 (71)	335 (72)	(76)
Origine	Lâtir poudre	Andjia poudre	Andjia concrétion	Andjia concrétion
Prélevé le	17.12.65	20.12.65	20.12.65.	20.12.65
Analysé le	2. 7.66	2. 7.66	2. 7.66	2. 7.66
Teneur en eau	14,2	10,0	29,1	25,2
Cl	0,0	0,2	0,0	0,0
SO ₄	0,9	0,0	0,0	0,0
HCO ₃	2,1	1,3	1,4	2,7
CO ₃	6,2	2,1	17,4	14,9
HCO ₃ + CO ₃	8,3	3,4	18,8	17,6
Total anions	9,3	3,6	18,8	17,6
Ca	0,15	0,1	+	+
Mg	+	0,0	+	+
Na	7,5	3,1	15,8	14,2
K	1,23	0,1	+	0,0
Na + K	8,73	3,2	15,8	14,2
Total cations	8,9	3,3	15,8	14,2

Echantillon	436-1 (73)	436-2 (74)	436-3 (75)
Origine	Bédara croute inf.	Bédara croute moy.	Bédara croute sup.
Prélevé le	25.4.66	25.4.66	25.4.66
Analysé le	2.7.66	2.7.66	2.7.66
Teneur en eau	29,2	24,2	23,6
Cl	0,0	0,0	1,2
SO ₄	0,0	0,9	0,0
HCO ₃	1,7	0,9	1,9
CO ₃	16,9	18	15
HCO ₃ + CO ₃	18,6	18,9	16,9
Total anions	18,6	18,9	18,1
Ca	0,1	+	+
Mg	0,0	0,0	0,0
Na	15,5	15,2	14,2
K	0,0	0,0	0,4
Na + K	15,5	15,2	14,6
Total cations	15,6	15,2	14,6

Résultats exprimés en milliéquivalents par litre.

Teneurs en eau en % du poids sec - étuve à 105°

+ = Teneur inférieur à 0,1.

Tableau 4.

Analyse des concrétions mamelonnées.

Origine	Sia	Bédara
Insoluble en %	4,8	4,0
Ca	92,5	89,0
Mg	1,6	2,4
Na	1,45	1,47
K	+	+

Résultats en milliéquivalents par litre.
+ = teneur inférieur à 0,1.

Tableau 5

Granulométrie des sables des Natronières.

N° tamis	Maille en mm.	Andjia 333		Latir 306		Latir 468		Latir 480		Latir 472	
34	2										
32	1,250							100			
30	0,800	100						99,9	0,1	100	
28	0,500	99,9	0,2					99,9	0,2	99,9	
26	0,315	99,8	3	100	2,3	100	3,2	99,8	3	99,6	10
24	0,200	96	21	97,6	25	94	12,5	95	31	89	66
22	0,125	75	55	72,6	52	82	46	65	55	23	19
20	0,080	20	20	20,3	19,4	37,2	37	10	9	3	3
18	0,050	0,6	0,6	1,2	1,2	1,4	1,3	0,6	0,6	0,1	0,1

Première colonne = % cumulatif.

Deuxième colonne = refus des tamis en %.

(472 = sommet de la dune bordant l'ouadi).

Tableau 6

Granulométrie des argiles et limons des natronières

Origine	N°	A	L	LG	SF	SG
Kaya	331	27,8	21,0	3,1	34,1	14,0
Kaya	535	46,6	26,6	3,7	11,3	11,8
Kaya	435	44,5	25,8	4,5	18,8	6,4
Kolokoko	437	26	13	1,2	42	6,2
Kolokoko	438	14	33	8	21	23
Latir	316	17,5	23,6	7,1	18,2	33,5
Latir	317	19,5	24	8,3	20,5	27,7
Latir	318	33,9	32,4	3,5	14,8	15,4
Latir	319	26	32	2	24	16
Latir	320	23	24	2,5	40,5	10
Latir	321	25	38,2	3,3	23,3	10,2
Latir	465	24	40	8	15	12
Latir	466	49	31	1	15	4
Latir	467	23	34	1,2	33	6,8
Latir	469	25	32	3,5	31	8,5

A = argile = de 0,000 à 0,002 mm.
 L = limon = de 0,002 à 0,020 mm.
 LG = limon grossier = de 0,020 à 0,050 mm.
 SF = sable fin = de 0,050 à 0,200 mm.
 SG = sable grossier = de 0,200 à 2,000 mm.

Tableau 7.

Fig.12

GRANULOMETRIE DES SABLES DES MATRONIERES

--

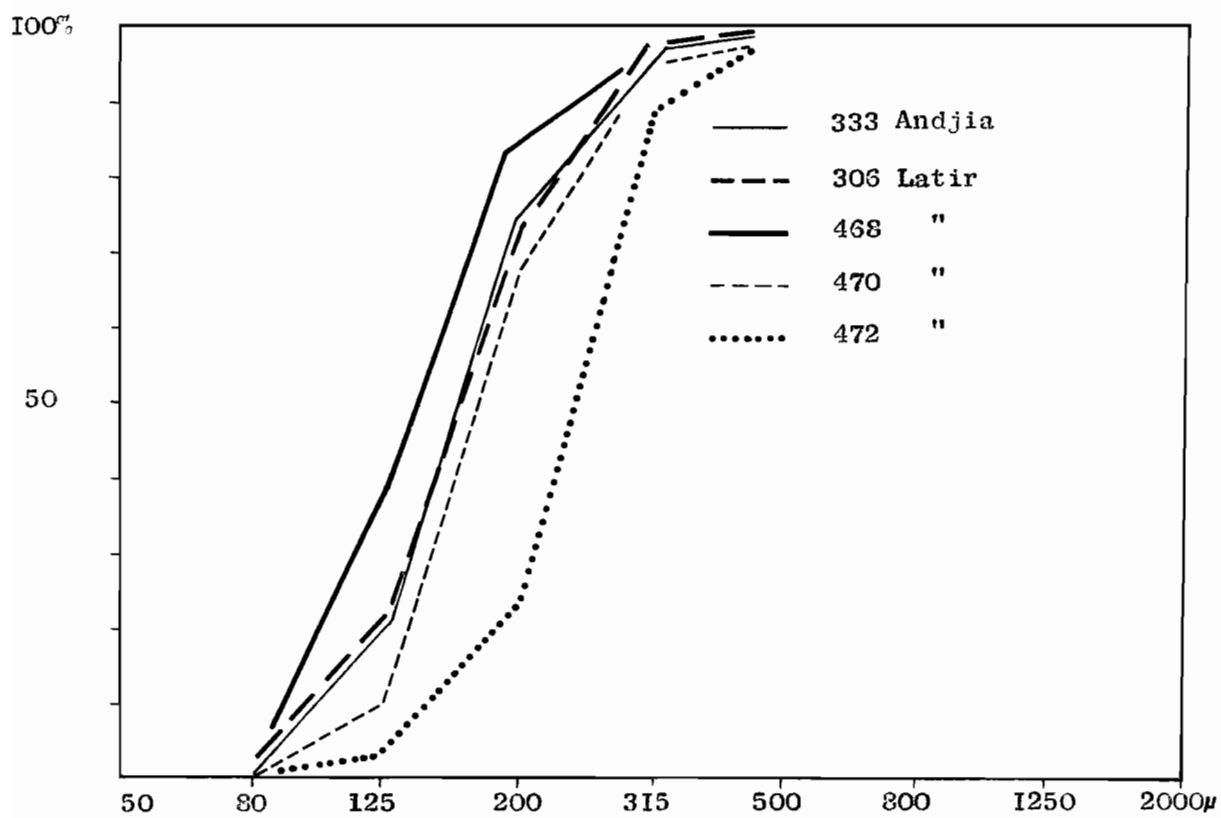


Fig. 13

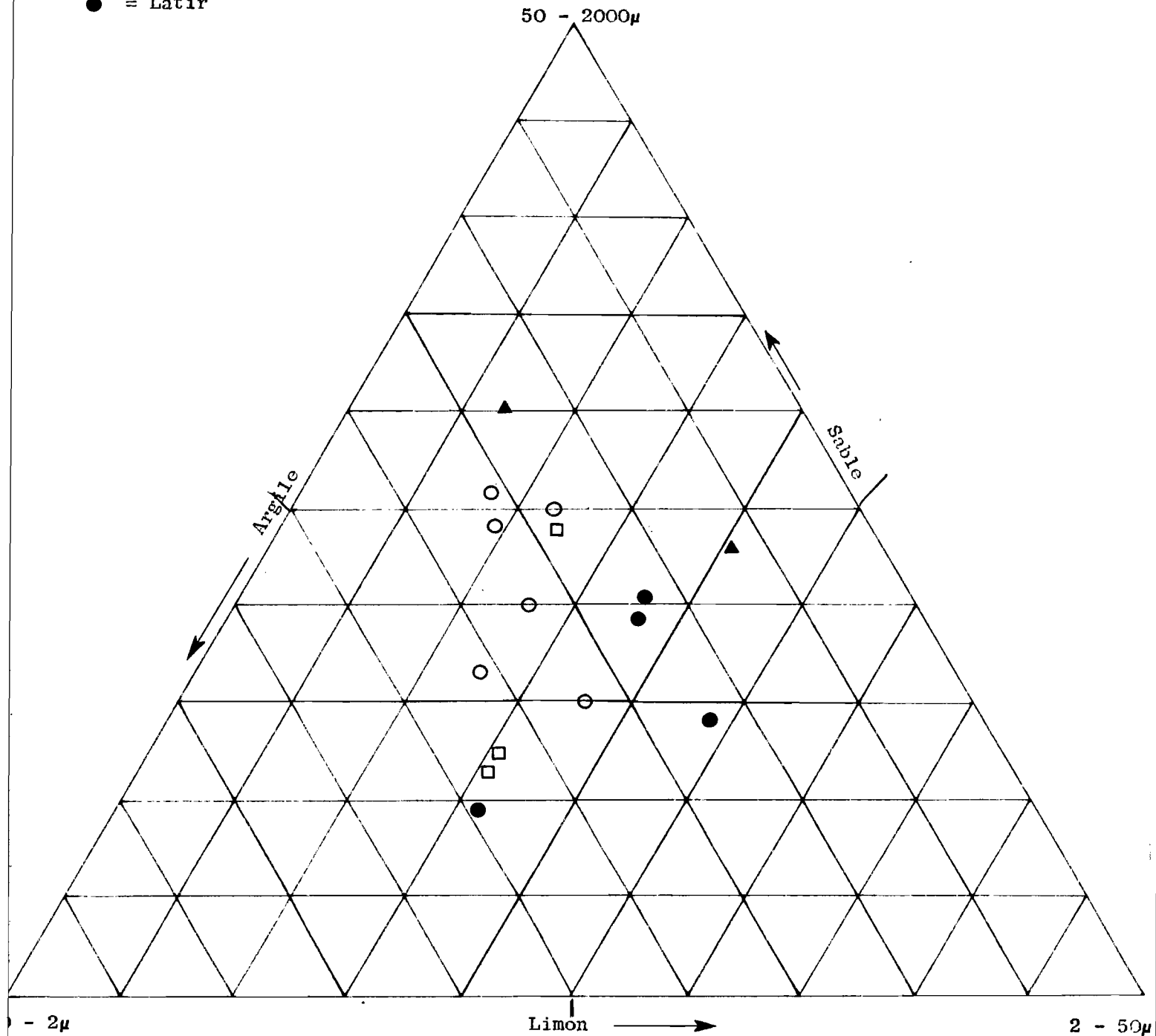
GRANULOMETRIE DES ARGILES ET LIMONS DES NATRONIERES

□ = Kaya

▲ = Kolokoko

○ = Latir

● = Latir



V - ETUDE DES ARGILES ET DES LIMONS DU KANEM

V/I Introduction.

Les formations sédimentaires du Kanem peuvent être classées selon 5 types principaux :

- les argiles
- les limons récents
- les limons anciens
- les sables
- les diatomites

entre ces types existent de nombreux termes de passage, notamment entre l'argile et le limon récent. Les sables sont étudiés dans un chapitre à part et ne seront donc pas abordés ici.

V/2 L'argile.

Elle a une structure prismatique bien développée et se débite en polyèdres anguleux de quelques centimètres à faces brillantes. Près de la surface son débit est habituellement grossièrement feuilleté. Elle est parcourue de fentes de retrait importantes pouvant atteindre 6 cm de largeur et se poursuivre en hauteur sur près de 1 m. Ces fentes se maintiennent même sous le niveau de la nappe. Elles sont parfois remplies de sable. Dans les ouadis natronés cette structure est détruite, elle devient massive et plastique. La couleur de l'argile est toujours dans les gris bleutés (gris 5Y 5/I, 5Y 6/I à gris olive 5Y 4/4, 5Y 3/2). Son épaisseur, toujours importante par rapport à celle des autres dépôts sédimentaires, peut atteindre 3 m. dans les ouadis de la bordure actuelle du lac tandis qu'elle n'est plus que d'une dizaine de centimètres à une trentaine de kilomètres au nord.

Elle renferme plus de 40% d'argile (jusqu'à 0,002 mm), moins de 50% de limon (de 0,002 à 0,050 mm.) et moins de 25% de sable (de 0,050 à 2 mm.) Alors que sa teneur en carbonates est nulle dans les ouadis proches du lac, elle s'élève à 21 et 35% à une trentaine de kilomètres au nord.

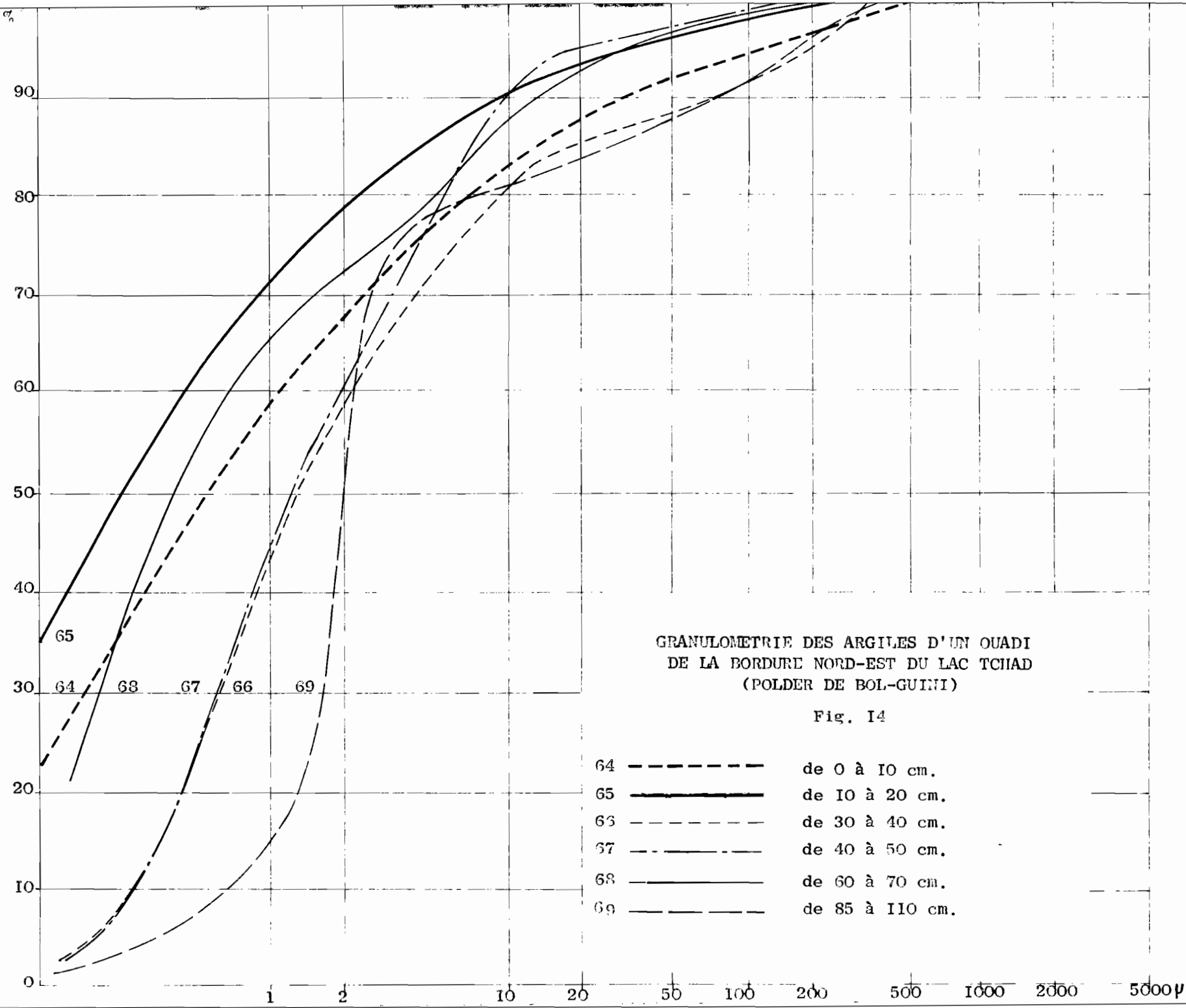
L'étude minéralogique aux rayons X, faite au laboratoire de géologie de l'Université de Strasbourg par G. MILLOT et H. PAQUET, sur des échantillons prélevés dans le polder de Bol-Guini (bordure actuelle du lac) a donné les résultats suivants : montmorillonite dominante, illite

et kaolinite en quantité égale. Les proportions sont de 4 pour la montmorillonite, 3 pour l'illite et 3 pour la kaolinite.

Origine	N°	A.	L.	L.G.	S.F.	S.G.	CaCO ₃
Maou	428	45	42	1,3	10,2	2,7	0
Kaya	435	44,5	25,8	4,5	18,8	6,4	0
Kaya	332	46,6	26,6	3,7	14,3	11,8	
Kairom	355	58	16,9	0,6	11,1	13,4	
Latir	466	49	31	1	15	4	47
Bol Bérim	330	42,5	42,1	3,1	8,7	3,6	
Katarnandou	459	48	38	3,4	4,6	5,9	21
Ouafbela	458	66,5	16,0	2	4,3	13,1	35

A = Argile = de 0,000 à 0,002 mm.
 L = Limon = de 0,002 à 0,020 mm.
 LG = Limon grossier = de 0,020 à 0,050 mm.
 SF = Sable fin = de 0,050 à 0,200 mm.
 SG = Sable grossier = de 0,200 à 2,000 mm

L'échantillon 466 qui a une teneur en carbonates, exprimée en CaCO₃, de 47% correspond à un ouadi natroné.



Résultats de l'étude aux rayons X d'échantillons
de sol d'ouadi de la bordure nord-est du lac Tchad

- Description de la coupe.

Coupe dans le fond de l'ouadi de Bol-Guini (13°30'LN-14°21'LE).
Nappe à 0,23 m.

- 0 à 10 cm. - Litière brune non décomposée sur 1 cm (Phragmites)
Argile limoneuse brun-gris avec assez nombreux
débris végétaux noircis. (64).
- 10 à 20 cm. - Niveau ayant les mêmes caractéristiques mais mieux
structuré et moins plastique. (65).
- 30 à 40 cm. - Argile tourbeuse brunâtre, nombreux débris végétaux
noircis, très plastique, carbonaté, odeur sulfu-
reuse très forte. (66).
- 40 à 50 cm. - Argile, éléments polyédriques durs, très individua-
lisés, carbonatés, souvent noircis sur leurs faces,
odeur sulfureuse. (67).
- 50 à 85 cm. - Même niveau. (68 = de 60 à 70 cm).
- 85 à 110 cm. - Argile gris bleu, bien structurée, fissurée. (69).

- Résultats de l'étude aux rayons X

N°	Profondeur	M	I	K
64	0 à 10 cm	7	traces	3
65	10 à 20 cm	6	I	3
66	30 à 40 cm	6	I	3
67	40 à 50 cm	+	+	+
68	60 à 70 cm	4	3	3
69	85 à 110 cm	4	3	3

M = Montmorillonite.

I = Illite.

K = Kaolinite.

V/3 Le limon récent.

Ce matériau est le dernier à s'être déposé dans les ouadis étudiés. Après le retrait de l'eau l'érosion y a taillé, sur la pente des ouadis, deux marches d'une trentaine de centimètres de hauteur. Son épaisseur est le plus souvent inférieure à 0,60 m., elle atteint 1 m. à Latir, ouadi qui semble se caractériser par une épaisseur plus grande des différents dépôts sédimentaires. Sa structure est massive, sa couleur gris brun clair (IOYR 6/2). Il renferme de 30 à 40% de limon, de 10 à 20% d'argile (30% pour le 431) et plus de 40% de sable. On y trouve souvent une quantité importante de coquilles de mollusques aquatiques.

Origine	N°	A	L	LG	SF	SG
Kairon	297	14,4	29,8	10,2	24,3	21,3
Kairon	358	16,6	21,6	6,6	24,1	31,1
Kairon	359	33,4	43,9	3,1	5,7	13,9
Maou	427	41	48	7,1	3,1	1,2
Maou	431	30	29	I	26,3	14,5
Latir	316	17,6	23,6	7,1	18,2	33,5
Latir	317	19,5	24,0	8,3	20,5	27,5
Latir	465	24	40	8	15	12
Kaya	331	27,8	21	3	34,1	14
Fiérom	462	32	42	6,7	10	8,7
Kolokoko	438	14	33	8	21,5	23,2
Ali Farom	341	10,2	7,7	21,1	58	4,4

Tableau 9

V/4 Le limon ancien.

Il ne se rencontre qu'en profondeur sous l'argile et seulement dans les ouadis proches du lac actuel. Il n'a aucune structure et sa teneur en eau est toujours élevée. Son épaisseur, inférieure à celle de l'argile sus-jacente varie entre 0,30 et 1 m. Sa couleur est gris à gris vert (5Y 5/1, 5Y 2/2). Sa teneur en limon est de 20 à 40%, celle en argile de 20 à 30%, celle en sable supérieure à 35%. Il est donc plus argileux que le limon récent et généralement moins sableux. Il est plus riche en limon au sud, plus mêlé de sable au nord. On y trouve de très nombreuses diatomées mais jusqu'ici, aucun fossile. Sa teneur en matière organique est habituellement élevée, de 10 à 12%

Origine	Nº	A	L	LG	SF	SG	CaCO ₃ %
Maou	429	30	29	1	26,3	14,5	
Kolokoko	437	26	13	1,2	42	6,2	5,3
Bol Bérin	205	22	30,6	1,9	24,7	20,8	6,8
Latir	319	26	32	2	24	16	12,1
Latir	320	23	24	2,5	40,5	10	
Latir	321	25	38,2	3,3	23,3	10,2	11,4
Latir	467	23	34	1,2	33	6,8	1,3
Latir	469	25	32	3,5	31	8,5	4,1
Koro	440	22	30	4	26,3	17,1	5,5
Koro	442	25	18	4,6	39	13,6	0
Koro	443	16	24	3,6	37	9,1	0
Togoum	447	25	27	4,5	42,2	1,2	0
Malili	453	26	29	6	37,1	1,6	
Mao	308	19,6	27,5	10,1	23	19,8	2,6

Tableau 10

V/5 La diatomite

Elle est toujours impure et se présente sous l'aspect d'un limon léger caractéristique au touché, blanc ou brun très clair (IOYR 8/2). Elle est parfois fortement colorée par des hydroxydes dans la zone de battement de la nappe. Sa structure est massive ; aucun feuilletage n'y apparaît. Son épaisseur est habituellement de l'ordre du mètre, parfois beaucoup plus importante. Absente de la bordure même du lac elle ne se rencontre généralement qu'à une cinquantaine de kilomètres plus au nord. Exceptionnellement il y en a 0,75 m. à Latir et 4 m. à Gala Ngodoum.

Elle renferme de 30 à 40% d'argile, de 35 à 55% de limon, de 10 à 30% de sable.

Origine	Nº	A	L	LG	SF	SG
Latir	318	33,9	32,4	3,5	14,8	15,4
Gala Ngodoum	419	37	33	5	15	9
Gala Ngodoum	420	27,6	60	1,8	6,6	3,4
Koro	444	36	39	3,7	11,7	8,1
Bourmi	344-2	36,8	32,5	2,0	25,5	3,2
Mao	311	33,6	50	3	9,8	3,6

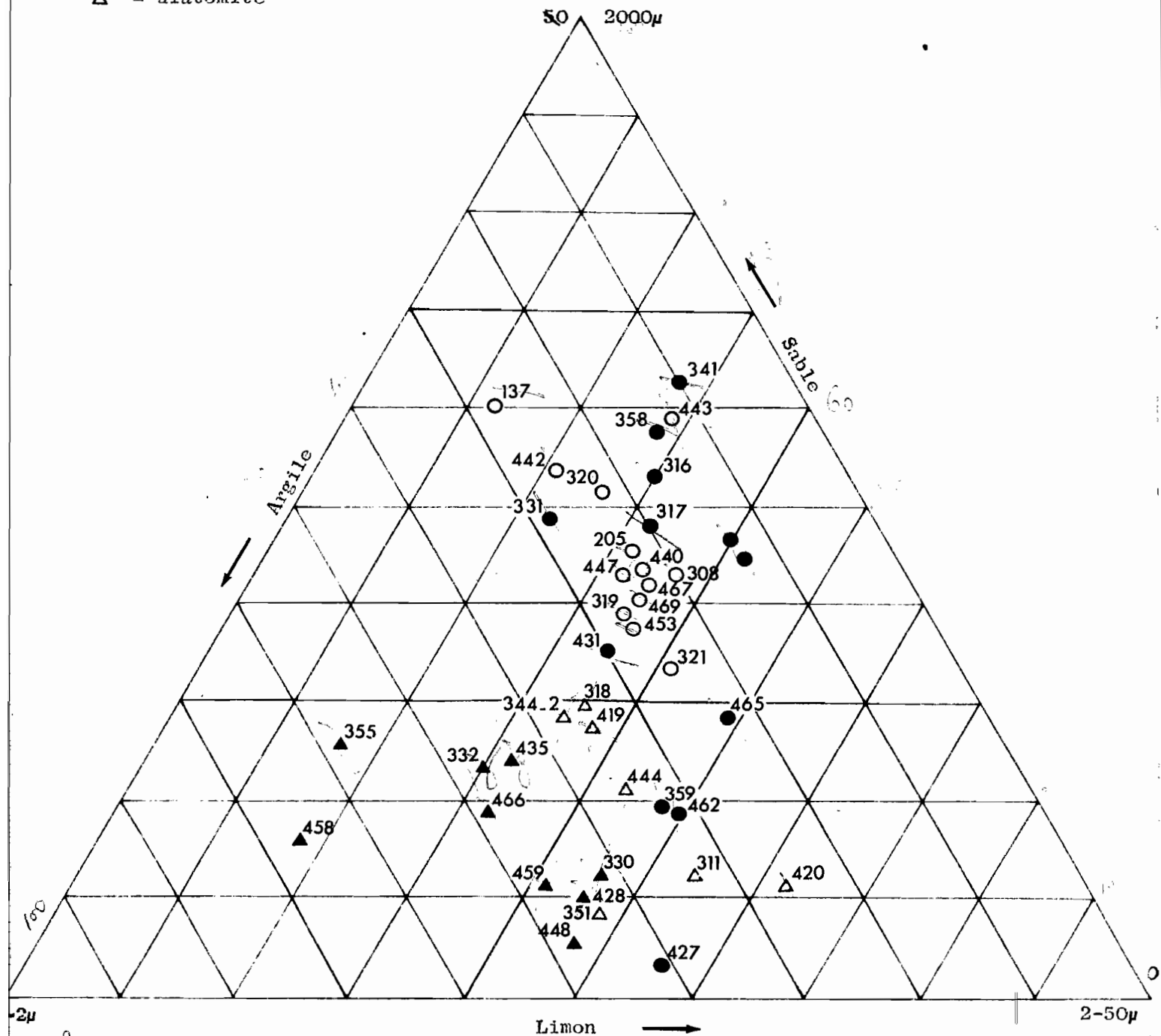
Tableau II

Remarque : toutes les formations étudiées renferment des diatomées. Elles sont très abondantes dans le limon ancien, abondantes dans l'argile ; peu nombreuses dans le limon récent. Leur étude est donnée dans un autre chapitre.

Fig. 15

DIAGRAMME DES ARGILES ET LIMONS DU KANEM

- ▲ = argile
- = limon récent
- = limon ancien
- △ = diatomite



VI - ETUDE DES FORMATIONS SABLEUSES DU KANEM

VI/I Etude granulométrique.

L'étude granulométrique des formations sableuses s'étendant au nord-est du lac Tchad permet d'y distinguer trois séries principales :

- A celle des sables du plateau de Mao
- B celle des dunes de la bordure sud de ce plateau
- C celle des dunes de la bordure actuelle du lac.

à ces séries on peut en ajouter deux directement issues de celle des sables du plateau de Mao :

- A.a celle des dunes recouvrant le plateau de Mao
- A.b celle des sables des pentes des ouadis de ce plateau

ainsi qu'une autre série :

- C.a celle des sables des ouadis de la bordure du lac

une dernière série est voisine de celle-ci au point de vue granulométrique sans qu'aucun autre critère permette de la lui rapprocher :

- A.c celle des sables de bas de pente et du fond des ouadis du plateau de Mao

Ces séries dérivent les unes des autres par simple remaniement éolien d'un même stock sableux ainsi que le montre la variation de la valeur des différents indices. Il s'agit dans tous les cas de sables moyens ou fins bien triés. La médiane est comprise entre 0,390 et 0,154 mm, le coefficient de mauvais triage (sorting index de Trask) entre 0,71 et 0,84. Les remaniements successifs ont eu pour effet de diminuer l'importance relative de la fraction la plus grossière (entre 0,500 et 0,800 mm) par rapport à la fraction fine (entre 0,080 et 0,125 mm) et par suite d'accroître le classement.

VI/2 Variation de la granulométrie dans les ouadis.

L'étude granulométrique des sables des ouadis met en évidence un déplacement de la courbe cumulative vers les petites dimensions ainsi qu'une tendance à l'aplanissement (mauvais triage) lorsqu'on passe des sables du sommet des pentes à ceux du fond de l'ouadi.

Dans le cas de l'ouadi de MAOU, la médiane passe de 0,248 mm pour les dunes de la bordure, à 0,205 mm à 0,70 m au-dessus du fond et à 0,161 mm à 4 m sous la surface du fond. Les variations du coefficient de mauvais triage (Sorting index de Trask = So) sont beaucoup plus faibles :

.../...

les valeurs de 100 So passent de 83 à 76 puis 74 pour remonter à 78, des dunes vers les sables profonds. La valeur des quartiles indique qu'il s'agit essentiellement d'une diminution de l'importance de la fraction la plus grossière, c'est-à-dire d'un enrichissement en éléments fins en descendant la pente de l'ouadi, ce qui met en évidence d'une part le rôle du vent entraînant la fraction fine du sable des dunes, d'autre part celui de l'eau (ruissellement et lessivages).

Résultats de l'analyse granulométrique
des sables du Kanem.

N°	Origine des échantillons	
347	Bourmi	Dune sur le plateau de Mao.
446	Togoum	Plateau de Mao.
343	Kéliganga	Dune de la bordure du plateau de Mao.
472	Latir	Dune de la bordure du lac Tchad.
180	Makilala	Dune d'une île du lac Tchad.

N°	Série	Md.	Q1.	Q3.	Hé x100	So x100	Q5	Q95	F/f
347	A.a	390	280	520	40	73	150	780	17,1
446	A.	340	235	450	42	72	130	710	5,8
343	B.	315	235	400	36	76	150	500	1,9
472	C.	245	200	290	29	83	130	420	0,10
180	C.	225	165	280	35	77	100	420	0,02

- N°. = Numéro de l'échantillon.
Md. = Médiane.
Q1. = Diamètre correspondant à 25%, premier quartile.
Q3. = Diamètre correspondant à 75%, deuxième quartile.
Q5. = Diamètre correspondant à 5%
Q95. = Diamètre correspondant à 95%
Hé. = Indice d'hétérométrie de Cailleux
So. = Sorting Index de Trask,
% 0,800 mm. - % 0,500 mm.
F/f =
% 0,125 mm. - % 0,080 mm.

Origine des échantillons

Série	Nº	Origine	L.N.	L.E.
A.	418	Gala Ngodoum	13°45'	15°18'
	446	Togoum	14°10'	14°58'
	457	Boula Boulim	13°52'	15°07'
A.a	347	Bourmi	14°03'	15°21'
	451	Djigaré	14°13'	15°03'
	454	Malili	14°09'	15°11'
A.b.	310	Mao	14°08'	15°19'
	314	Mao	14°08'	15°19'
	315	Mao	14°08'	15°19'
	343.2	Bourmi	14°03'	15°21'
	345	Bourmi	14°03'	15°21'
	423	Gala Ngodoum	13°45'	15°18'
A.c.	439	Koro	14°07'	14°48'
	449	Djigaré	14°13'	15°03'
B.	461	Katarnandou	14°45'	14°53'
	343	Kéliganga	13°52'	15°03'
	344	Boula Boulim	13°52'	15°07'
C.	180	Makilala	13°21'	14°55'
	202	Bol	13°28'	14°42'
	213	Bol	13°28'	14°42'
	337	Ngéléa	13°35'	14°28'
	338	Ngéléa	13°35'	14°28'
	352	Kairon	13°24'	15°26'
	354	Kairon	13°24'	15°26'
	356	Kairon	13°24'	15°26'
	407	Kalérom	13°15'	15°32'
	408	Kalérom	13°15'	15°32'
	415	Kouroua	13°20'	15°29'
	416	Kouroua	13°20'	15°29'
	417	Kouroua	13°20'	15°29'
	425	Maou	13°36'	14°36'
	463	Fiérom	13°43'	14°51'
	464	Fiérom	13°43'	14°51'
471	Latir	13°36'	14°44'	
472	Latir	13°36'	14°44'	
C.a.	333	Andjia	13°41'	14°17'
	342	Ali Farom	13°39'	14°48'
	357	Kairon	13°24'	15°26'
	412	Kairon	13°24'	15°26'
	424	Maou	13°36'	14°36'
	470	Latir	13°36'	14°44'

Indices Granulométriques

Série	Nº.	Md.	Q1.	Q3.	Hé x100	So x100	Q5	Q95
A.	418	330	220	440	42	71	130	680
	446	340	35	450	42	72	130	710
	457	360	260	450	30	76	135	660
A.a	347	390	280	520	40	73	150	780
	451	390	270	520	42	72	145	780
	454	370	260	490	40	73	135	740
A.b	310	320	200	440	48	67	103	720
	314	280	190	410	54	68	100	680
	315	300	210	420	50	71	120	680
	343, 2	270	150	400	56	61	90	640
	345	255	165	375	60	66	95	560
	423	280	185	420	52	66	105	690
A.c	439	165	135	190	29	84	90	300
	449	180	140	250	39	75	94	420
B.	461	295	230	385	40	77	140	490
	343	315	235	400	36	76	150	500
	344	300	231	390	39	77	145	500
C.	180	225	165	280	35	77	100	420
	202	250	210	300	27	84	130	440
	213	240	175	290	32	78	130	360
	337	220	160	290	37	74	103	430
	338	250	190	310	33	78	130	470
	352	250	200	305	32	81	130	460
	354	231	170	300	38	75	105	450
	356	250	200	310	34	80	130	450
	407	260	203	340	39	72	100	480
	408	235	170	300	37	75	105	450
	415	240	180	290	32	80	105	430
	416	230	147	300	40	70	92	450
	417	260	210	305	32	84	125	460
	425	248	203	295	30	83	125	430
	463	230	175	290	32	78	100	440
	464	265	210	315	31	77	130	490
471	250	210	300	29	84	130	440	
472	245	200	290	29	83	130	420	
C.a	333	160	130	200	32	80	90	310
	342	195	145	260	45	75	100	400
	357	195	145	260	45	75	100	370
	412	154	115	200	40	76	85	410
	424	161	129	212	38	78	86	310
	470	175	140	230	32	78	100	315

Tableau 14

Ces variations de la valeur de la médiane et du coefficient de mauvais triage sont confirmés par l'étude des ouadis de Kairom et de Latir. La même étude effectuée sur une dune à Bol montre, pour celle-ci, une faible augmentation de la valeur de la médiane jusque vers 1,40 m, suivie d'une diminution sans que l'hétérométrie varie d'une façon significative.

VI/3 Remarque.

Les formations sableuses observées au nord du Lac se retrouvent dans le lac actuel et au sud de celui-ci. Dans ce dernier cas elles sont généralement surmontées par plusieurs mètres de dépôts argileux mais elles peuvent exceptionnellement apparaître en surface là où la sédimentation plus récente n'a pas recouvert le sommet des anciennes dunes.

N°	Origine des échantillons	
472	Latir	Dune de la bordure nord-est du lac Tchad
180	Makilala	Dune d'une île de l'archipel
512	Minara	Sable du fond du lac (eau libre).
268	Adjilélé	Sable du fond du lac (marécage).
291	Mouténak	52 km au sud du lac, à -3,00 m.
295	Massakory	55 km à l'est du lac, à -3,00 m.
359.2	Djermaya	56 km au sud du lac, à -3,40mm.
360	Djermaya	56 km au sud du lac, à -0,90 m.
361	Djermaya	56 km au sud du lac, en surface.

N°	Md.	Q1	Q3	Hé x100	So x100	Q5	Q95
472	245	200	290	29	83	130	420
180	225	165	280	35	77	100	420
512	213	161	265	34	78	126	315
268	180	145	237	33	78	103	310
291	243	205	281	23	85	130	315
295	225	165	280	35	77	103	400
359.2	230	165	290	32	75	98	410
360	230	175	285	31	78	92	420
361	220	155	280	35	75	88	390

Tableau 15

Fig. 16

COURBES CUMULATIVES DES SABLES DE LA BORDURE NORD-EST DU LAC TCHAD

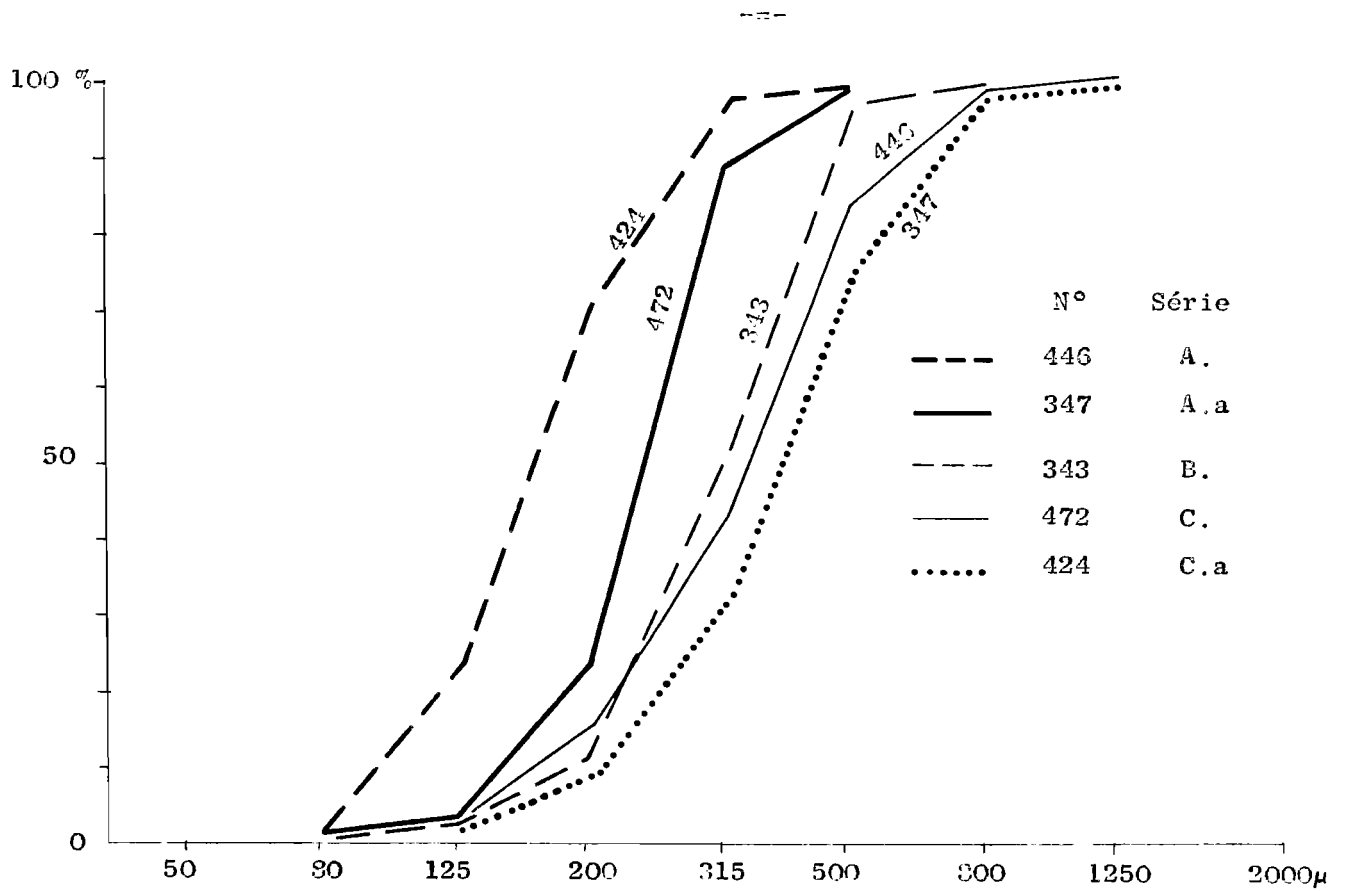
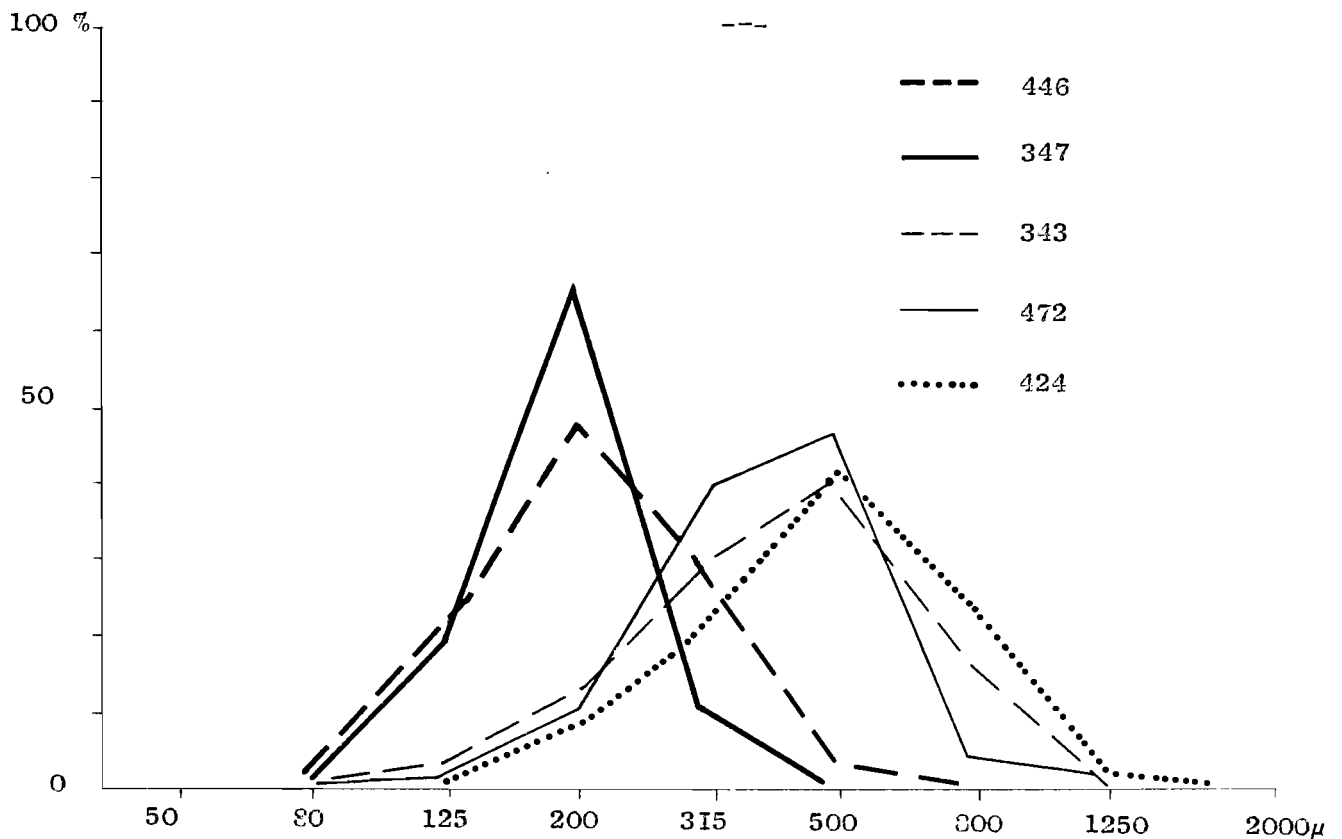
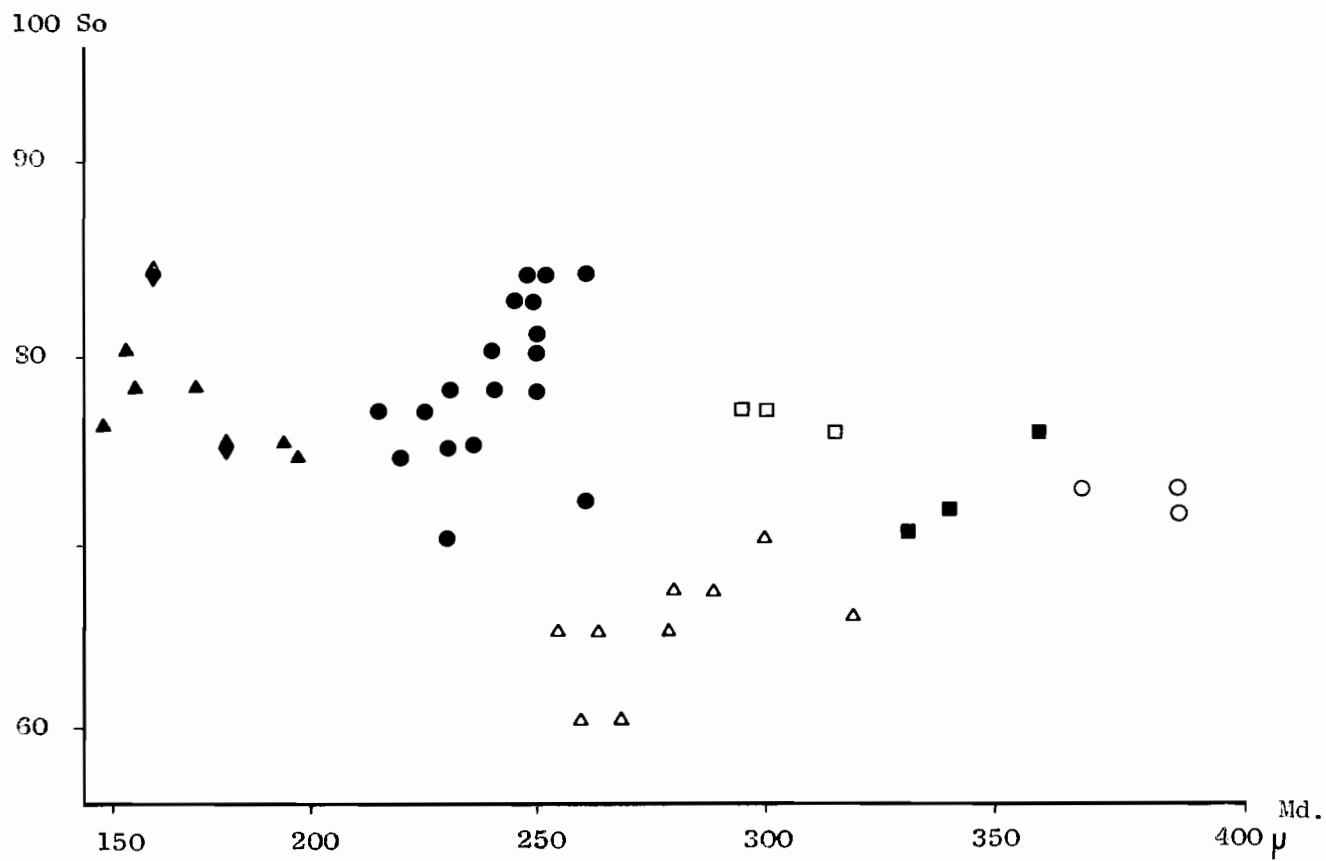


Fig. 17

COURBES DE FREQUENCE DES SABLES DE LA BORDURE NORD-EST DU LAC TCHAD





- Série A
- Série Aa
- △ Série Ab
- ◆ Série Ac
- Série B
- Série C
- ▲ Série Ca

Fig. 18 SABLES DE LA BORDURE NORD-EST DU LAC TCHAD

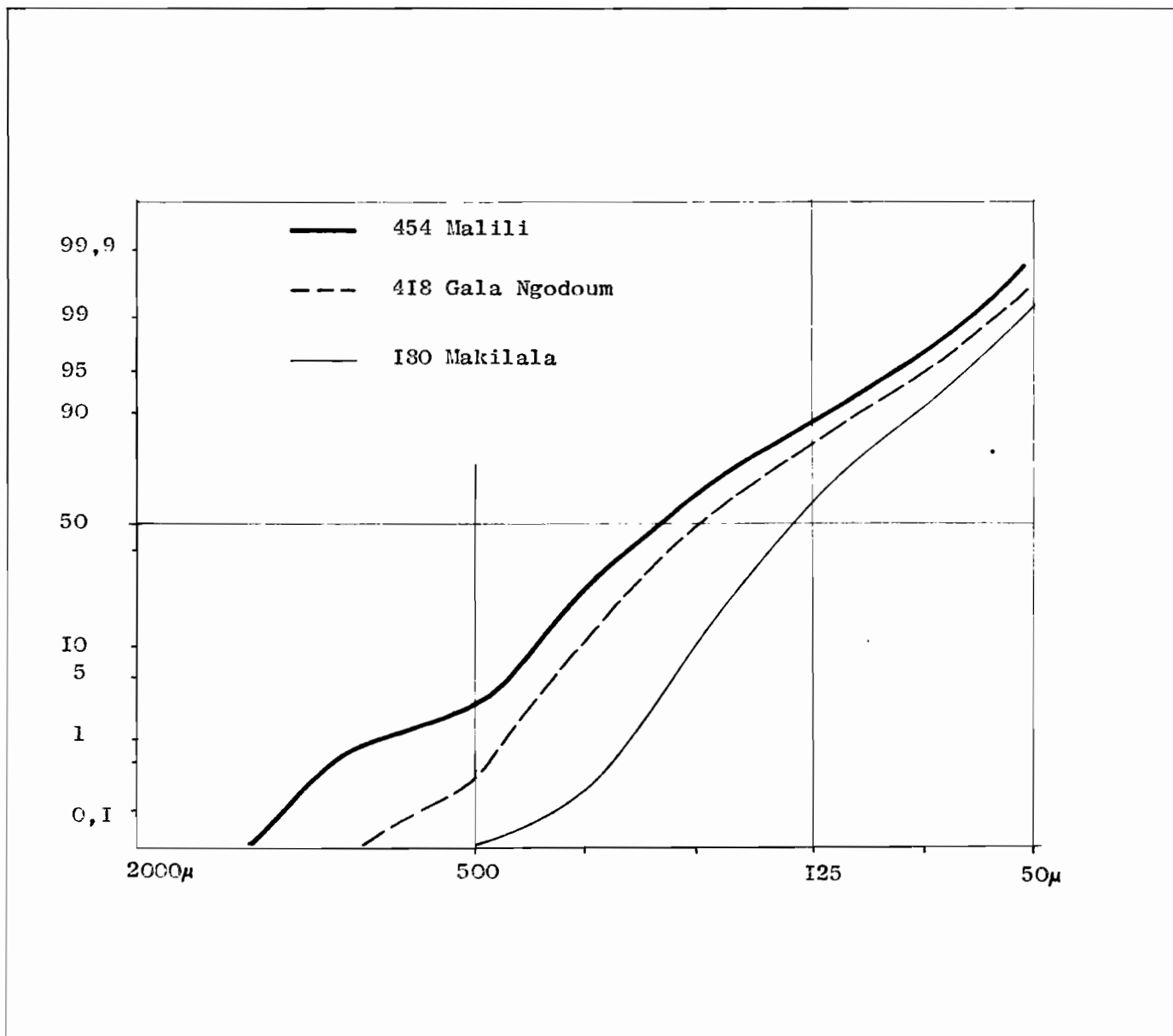


Fig. 19 COURBES DE DOUGLAS DE 3 SABLES DU KANEM

..... 180 Makilala
— 418 Gala-Ngodoum
— 454 Malili

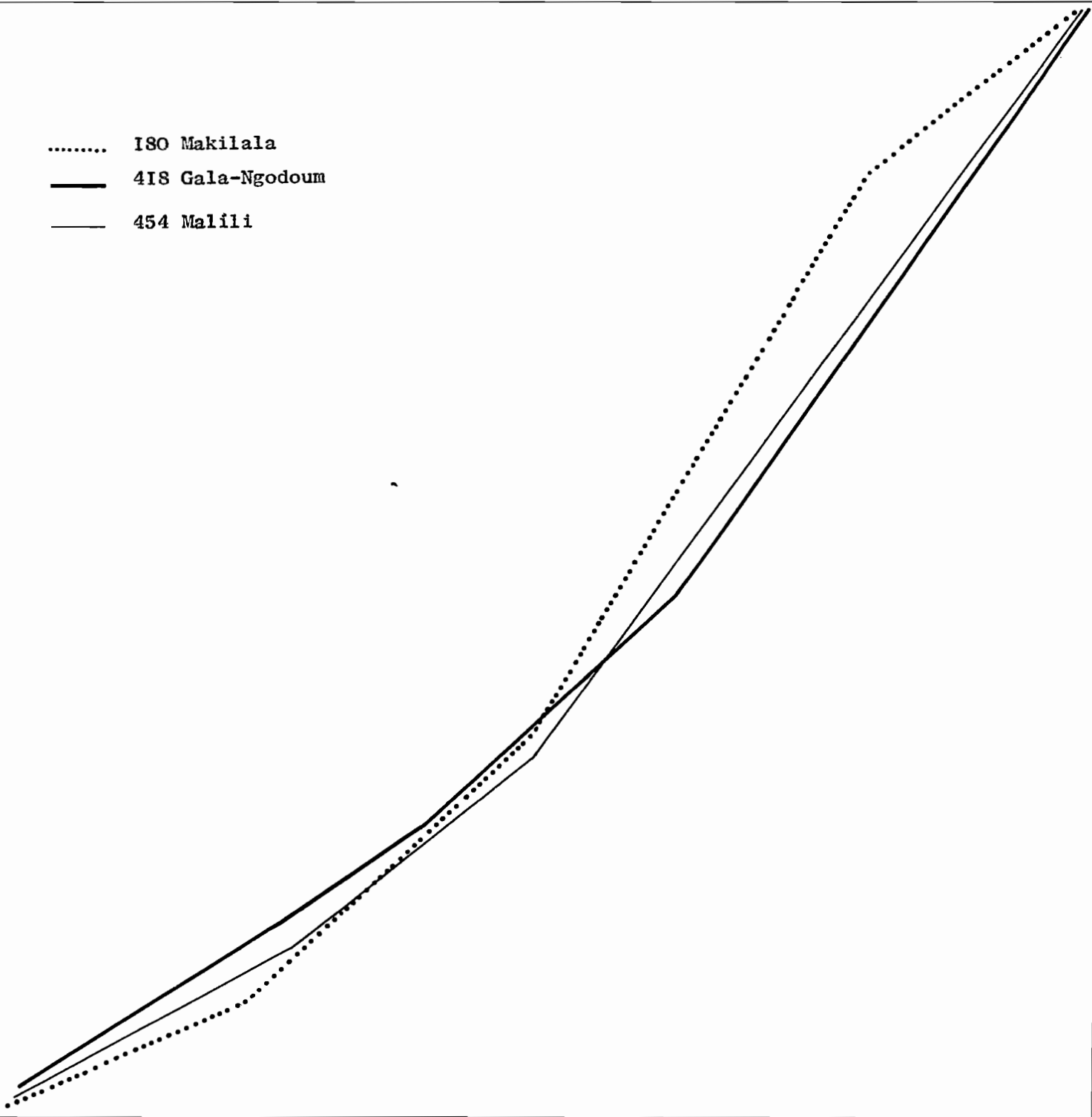


Fig. 20 COURBES CANONIQUES DE RIVIERE DE 3 SABLES DU KANEM

Variation de la granulométrie selon la cote par rapport au fond de l'ouadi

Ouadi de Maou.

Nº	Md	Q1	Q3	Hé x100	So x100	Q5	Q95	cote
425	248	203	295	30	83	125	430	+15,00
426	230	170	292	33	76	110	430	+ 1,20
432	205	152	262	36	76	105	400	+ 0,70
430	190	140	253	38	74	94	315	- 3,50
424	161	129	212	38	78	86	310	- 4,00

Ouadi de Kairom.

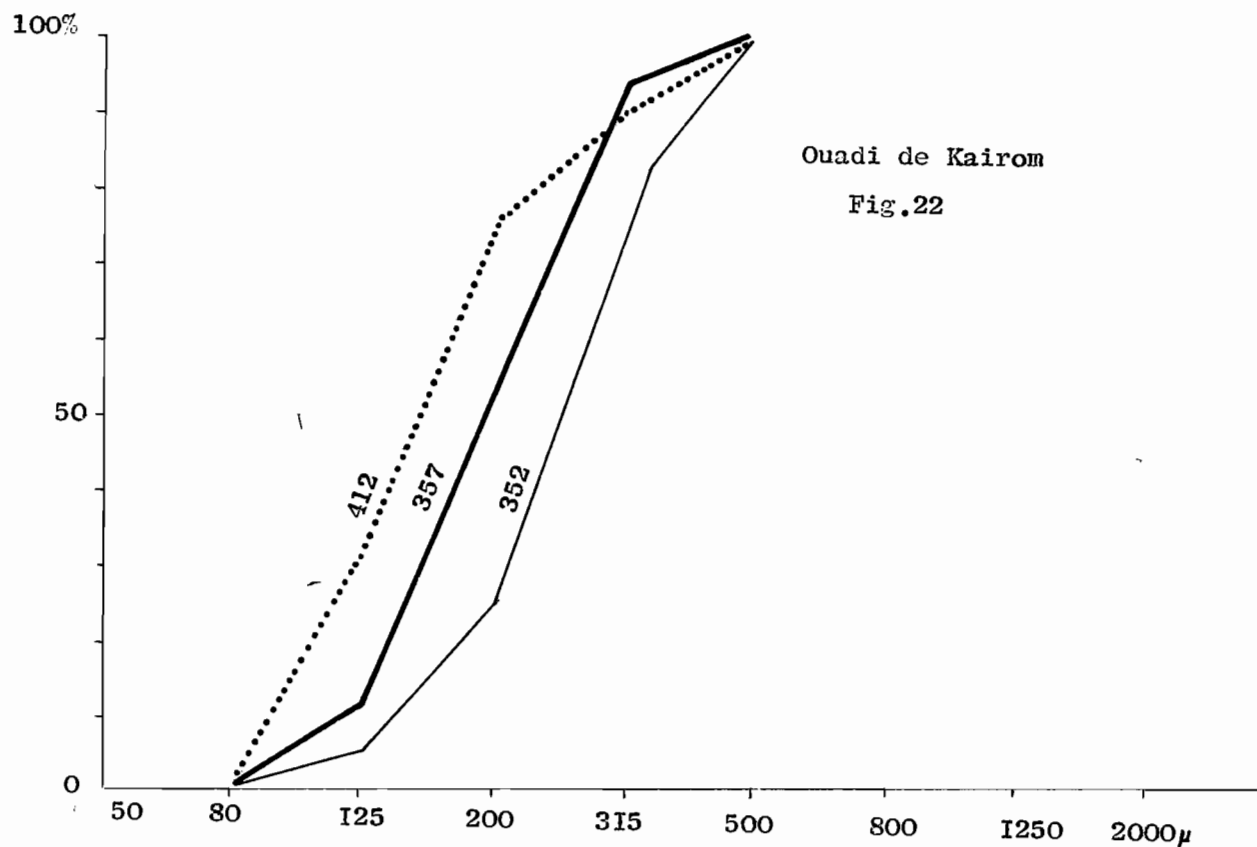
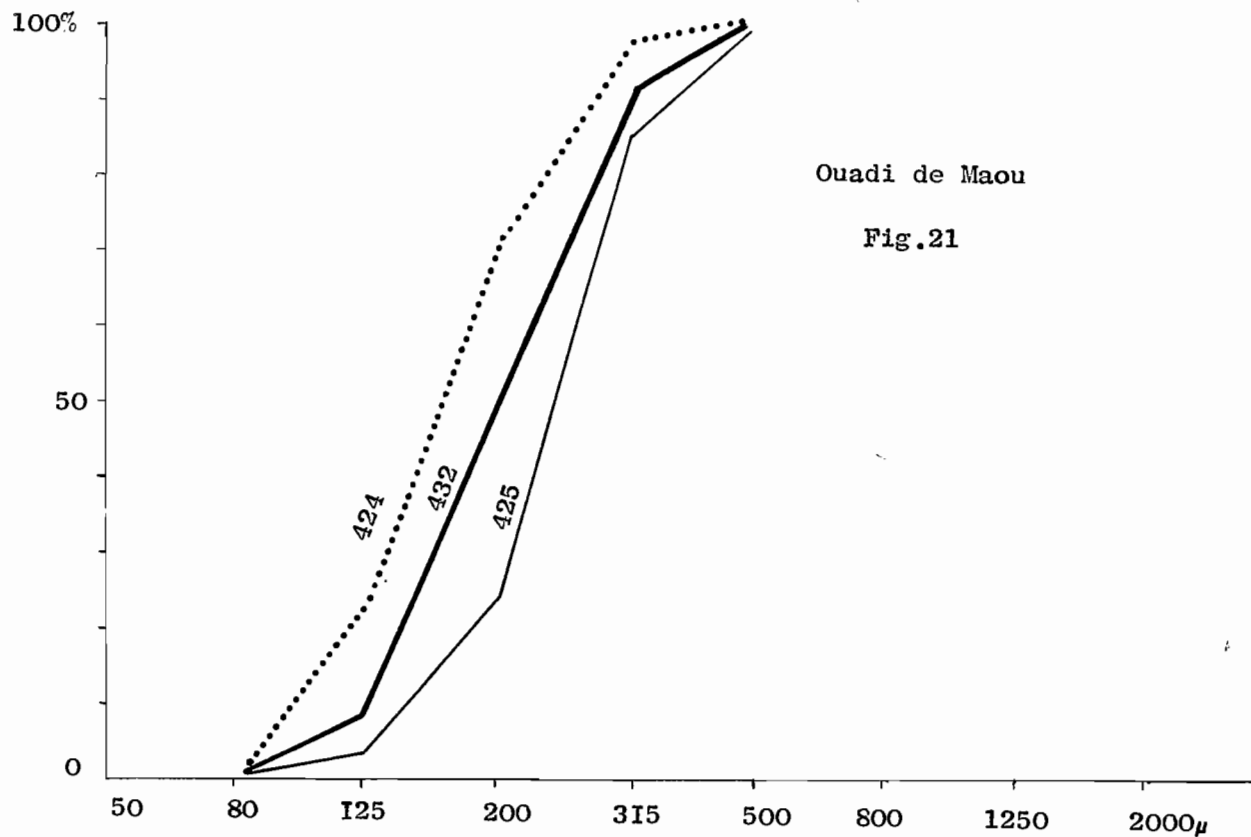
Nº	Md	Q1	Q3	Hé x100	So x100	Q5	Q95	cote
352	250	200	305	32	81	130	450	- 0,10
356	250	200	310	34	80	130	450	- 1,00
354	231	170	300	38	75	105	450	- 1,10
357	195	145	260	45	75	100	370	- 2,20
412	154	115	200	40	76	85	410	- 4,00

Ouadi de Latir.

Nº	Md	Q1	Q3	Hé x100	So x100	Q5	Q95	cote
471	250	210	300	29	84	130	440	+ 8,00
472	245	200	290	29	83	130	420	+ 6,00
306	160	130	210	34	79	88	305	- 1,10
468	143	105	180	38	76	84	330	- 3,10
470	175	140	230	32	78	100	315	- 3,15

Dune à Bol.

Nº	Md	Q1	Q3	Hé x100	So x100	Q5	Q95	cote
323	205	150	270	42	74	100	400	- 0,20
324	220	160	290	38	74	112	440	- 0,80
325	230	175	300	39	75	125	440	- 1,40
328	190	145	260	43	75	110	315	- 3,00



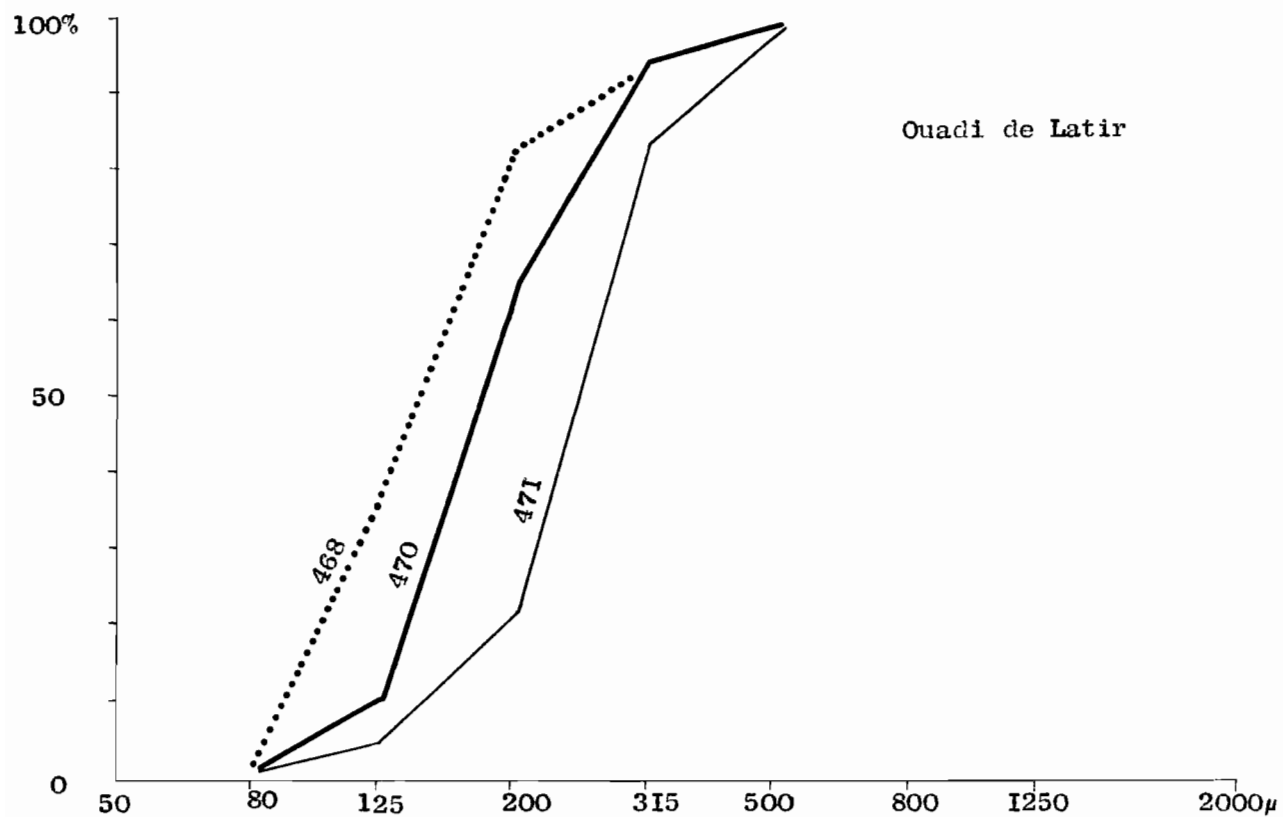


Fig. 23 VARIATION DE LA GRANULOMETRIE SELON LA COTE
PAR RAPPORT AU FOND DE L'OJADI

VI/4. Etude morphoscopique

L'origine des échantillons étudiés est la suivante :

- 446 = plateau de Mao, erg ancien,
- 454 = dune sur le plateau de Mao.
- 343 = dune de la bordure du plateau de Mao.
- 472 = dune de la bordure du lac actuel.

Les résultats obtenus sont très homogènes, il n'est pas possible de mettre en évidence une évolution de la forme des grains entre les divers formations. Le pourcentage des grains ovoïdes ou émoussés est voisin de 55%, celui des grains sub-anguleux voisin de 40%. Il n'y a pas d'anguleux, les ronds sont très peu nombreux, pourcentage inférieur à 5%. L'état de surface donne de meilleures indications grâce à sa sensibilité plus grande. Les grains mâts ne sont prépondérants que dans le cas des sables du plateau de Mao (erg ancien) où ils atteignent 78%. Dans les trois autres échantillons les grains picotés dominent, leur pourcentage est sensiblement le même que celui des grains luisants dans les dunes ou cordons édifiés sur le plateau de Mao. Le pourcentage des grains mats est, dans ces sables, le plus bas de ceux obtenus. En se rapprochant du lac actuel le pourcentage des mats augmente sans toutefois atteindre celui des sables du plateau de Mao, celui des luisants diminue.

Ces résultats montrent qu'il s'agit de sable fluviatile ayant subi un début d'usure sur des plages lacustres (pourcentage élevé de grains sub-anguleux et anguleux ainsi que des grains émoussés et ovoïdes, très petit nombre de ronds) puis une usure éolienne, cette dernière n'ayant encore marqué que la surface des grains sans modifier sensiblement leur forme. Les sables les plus éolisés, ceux du plateau de Mao, renferment 98% de picotés et de mats pour seulement 4% de ronds.

Les déterminations ont été faites par Madame Delaune au laboratoire de Géologie de l'ORSTOM à Bondy sur les grains de 0,3 mm. de diamètre.

Origine	Nº	R	O	E	S	A	M	P	L	I.U.
Togoum	446	4	3	52	40	0	78	20	2	344
Malili	454	I	4	48	47	0	22	39	39	318
Kéliganga	343	4	2	54	36	4	30	38	32	332
Latir	472	3	13	44	40	0	42	49	9	358

Indices de forme :

- R = grains ronds en %
- O = grains ovoïdes en %
- E = grains émoussés en %
- S = grains sub-anguleux en %
- A = grains anguleux en %

Indices de surface :

- M = grains mats en %
- P = grains picotés en %
- L = grains luisants en %

Indice d'usure = I.U.

Morphoscopie de sables de la bordure nord-est du lac Tchad

Tableau 17

446	L	P	M	%	I.U.
A					
S	7	11	28	40	80
E	2	8	42	52	208
O		1	3	4	24
R			4	4	32
%	3/2	20	78		344

454	L	P	M	%	I.U.
A					
S	22	16	9	47	94
E	14	21	13	48	192
O	2	2		4	24
R	7			1	8
%	39	39	22		318

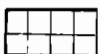
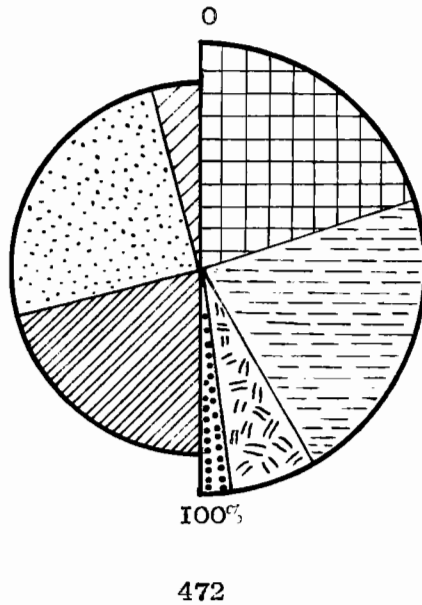
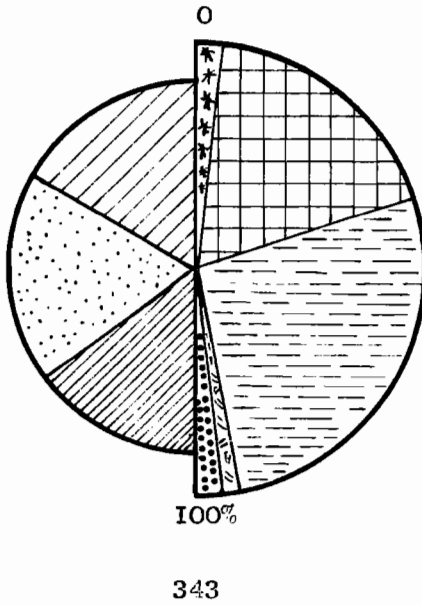
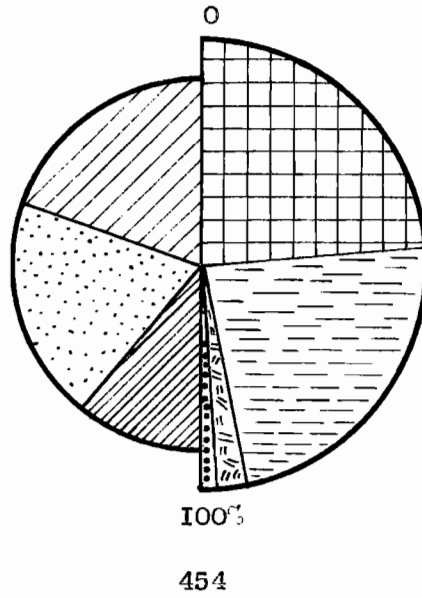
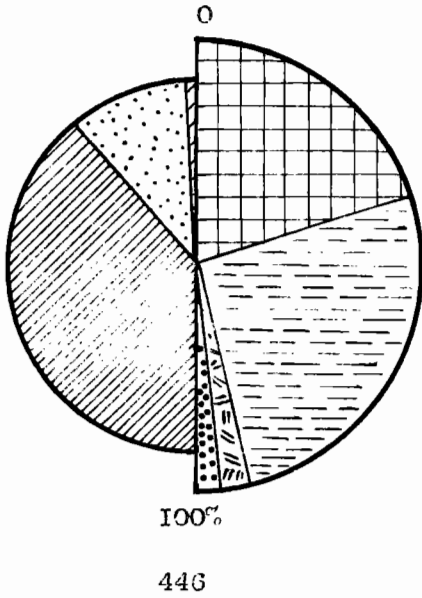
343	L	P	M	%	I.U.
A	4			4	
S	12	14	10	36	72
E	14	24	16	54	216
O	1		1	2	12
R	1		3	4	32
%	32	38	30		332

472	L	P	M	%	I.U.
S	2	21	17	40	80
E	4	21	19	44	176
O	3	6	4	13	78
R		1	2	3	24
%	9	49	42		358

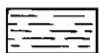
Résultats de l'étude morphoscopique
de quatre échantillons de sable
de la bordure nord-est du lac Tchad

Tableau 18

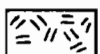
Fig. 21 RESULTATS DE L'ETUDE MORPHOSCOPIQUE
DE SABLES DE NANEM



Subanguleux



Emoussés



Ovoïdes



Ronds



Mats



Picotés



Luisants



Anguleux

Fig. 25

ETUDE MORPHOSCOPIQUE - INDICES DE SURFACE

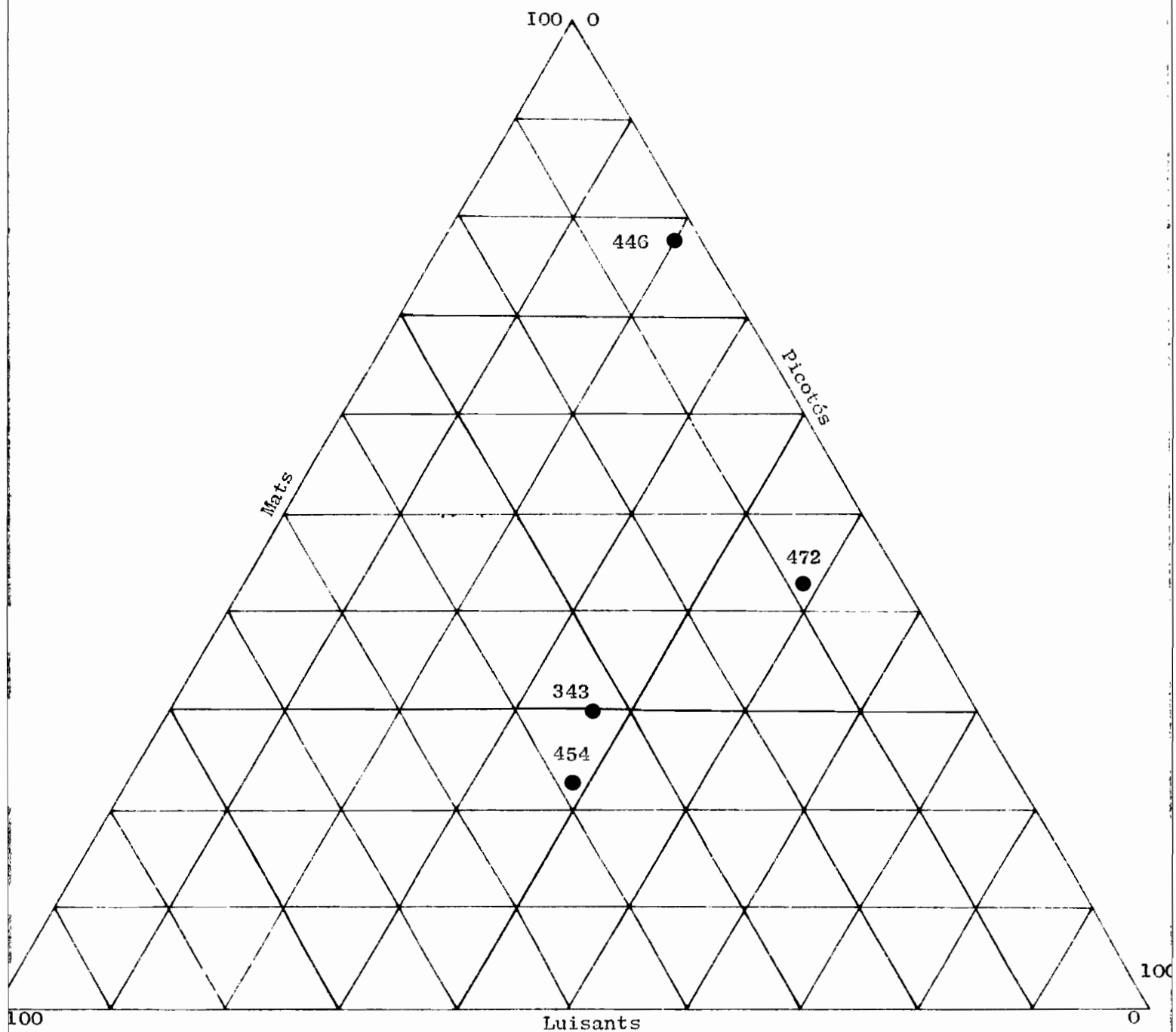
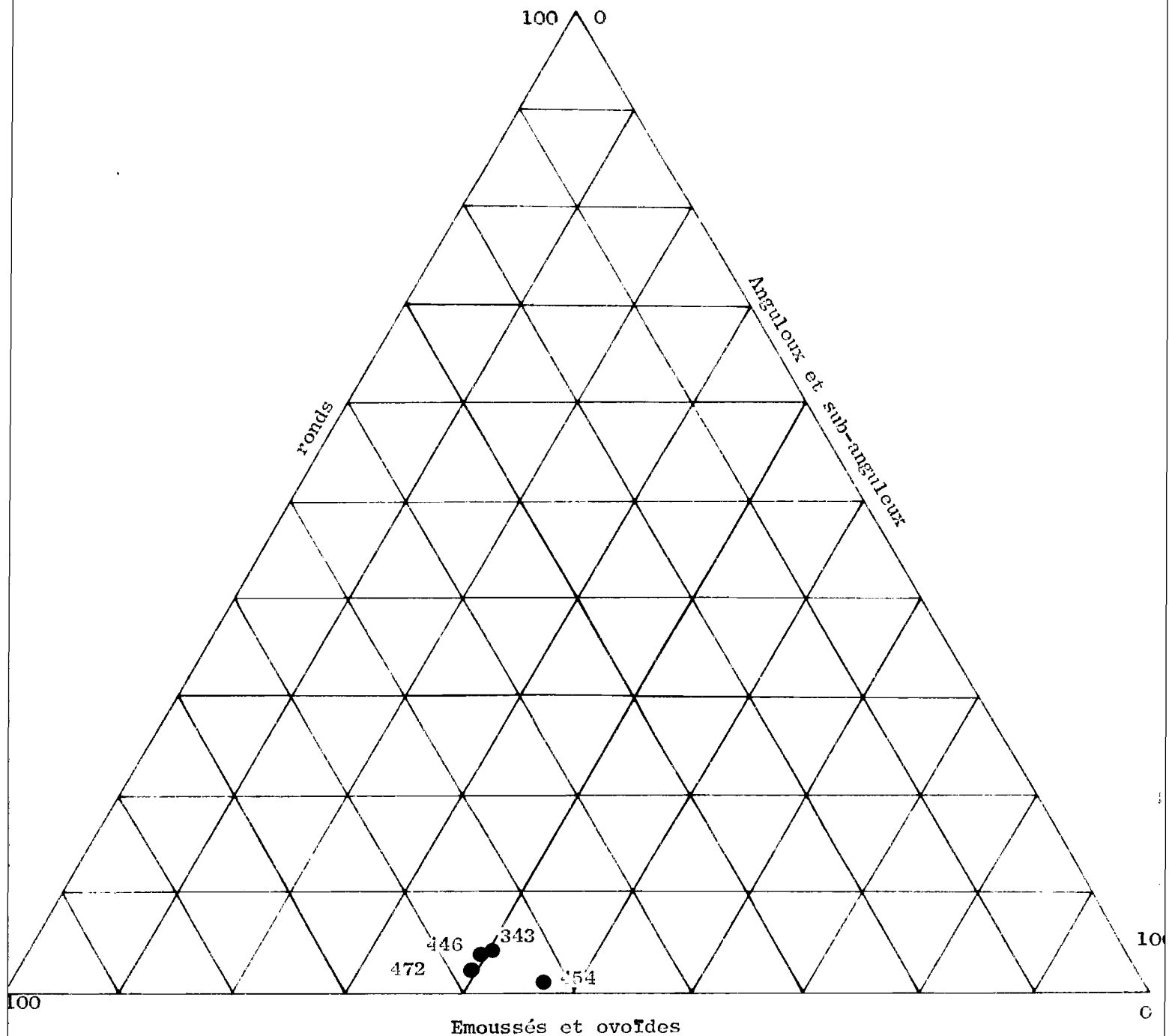


Fig. 26

ETUDE MORPHOSCOPIQUE - INDICES DE FORME

--



VI/5. Etude des minéraux lourds.

Deux échantillons seulement ont été étudiés, ils correspondent au sable des dunes de la bordure du lac actuel, l'un a été prélevé au sommet, l'autre à la base des dunes.

Ces sables renferment peu de minéraux lourds, leur teneur pondérale est inférieure à 0,2%. Les minéraux ubiquistes résistants, zircon, tourmaline, rutile, forment à eux seuls 90% du total, le zircon intervenant pour 60%. Les minéraux de métamorphisme, staurotide, épidote, donnent les 10% restant. Ces pourcentages indiquent une origine ancienne et des remaniements importants.

Les sables du lac ne diffèrent pas, au point de vue composition minéralogique, des sables du Kanem auxquels les rattache une même histoire sédimentaire.

Ces résultats confirment, en partie, ceux obtenus par P.J. Dieleman et N.A. de Ridder à partir d'échantillons prélevés dans des forages effectués dans le polder de Bol-Guini, échantillons pour lesquels ils indiquent une association caractéristique de zircon, tourmaline, épidote et staurotide, le zircon atteignant à lui seul 50 à 60%, et une seconde association de minéraux volcaniques, titanite, augite, hornblende basaltique, cette dernière n'apparaissant pas dans les sables que nous avons analysés.

Les déterminations ont été faites par Madame Delaune au laboratoire de Géologie de l'ORSTOM à Bondy.

Minéraux lourds	202	232
Zircon	64	56
Tourmaline	25	32
Rutile	2	2
Andalousite	+	+
Disthène	+	
Sillimanite	+	+
Staurotide	4	7
Grenat	+	+
Hornblende verte	+	+
Hypersthène	+	+
Pyroxènes monocliniques	+	+
Epidotes	5	3
Teneur pondérale	0,08	0,12

(Résultats en %)

Teneur pondérale = poids de minéraux lourds extrait de 100 gr. de sable.

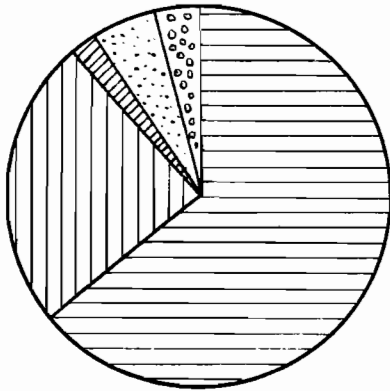
+ = pourcentage inférieur à 0,5%

202 = sommet de dune à Bol

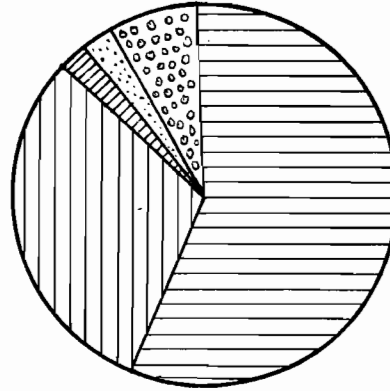
232 = base de dune à Bol.

Fig. 28 COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DE SABLE DU KANEM

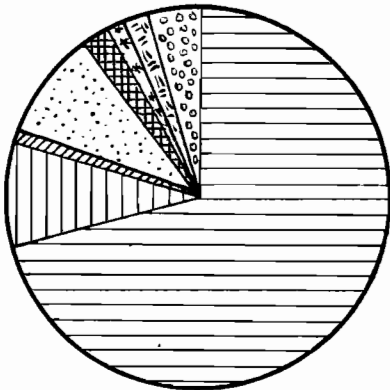
--



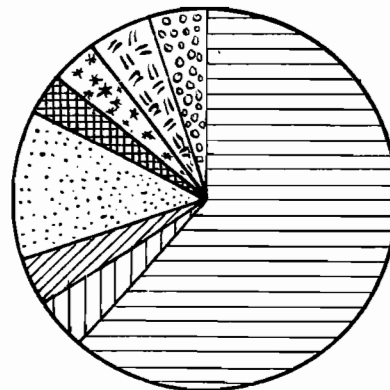
202 Sommet de dune
à Bol



232 Base de dune à Bol



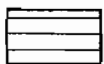
T.1 Polder de Bol
(à - 6 m.)



T.4 Polder de Bol
(à - 6 m.)

(Dieleman P.J., de Ridder N.A.)

(Dieleman P.J., de Ridder N.A.)



Zircon



Tourmaline



Rutile



Epidotes



Saussurite



Hornblende



m. volcanique



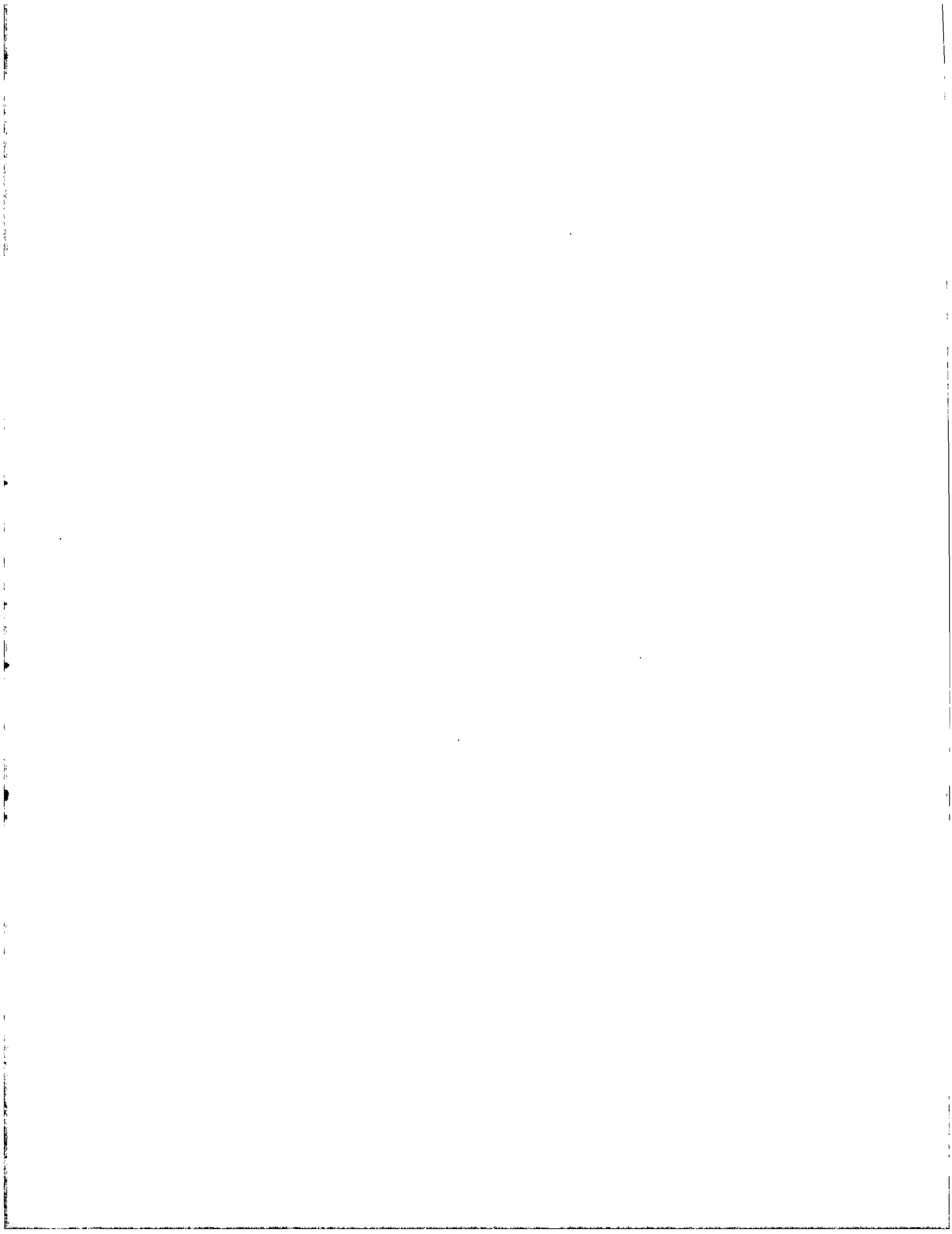
m. métamorphisme

VI/6 Etude colorimétrique.

L'étude de la couleur des sables a été faite à l'aide des indices du code Munsell (Munsell Soil Color Charts). Chaque couleur est définie par 3 paramètres : la couleur spectrale (hue), la brillance (value), teintes claires ou foncées, et la pureté (chroma). Sur un graphique on a porté en abscisses la pureté, en ordonnées la brillance et la couleur spectrale. Les sables se répartissent alors en 3 groupes selon leur position dans le sol : sable de dune, sable profond du fond des ouadis, sable des pentes. Les sables dunaires ont la couleur spectrale (hue) d'indice le plus petit et la pureté (chroma) la plus grande, les sables profonds ayant, à l'inverse, la couleur spectrale d'indice le plus élevé et la pureté la plus faible. Pour ces 3 groupes de sables la brillance (value) est un peu supérieure à la moyenne, elle oscille entre 5 et 8.

N°	Origine	Couleur	N°	Origine	Couleur
44	Alayri	2,5Y 7/2	406	Wolirom	10YR 5/3
49	Eragé	10YR 7/2	407	Kalérom	10YR 8/4
58	Beurkia	5Y 8/3	408	Kalérom	7,5YR 5/6
63	Beurkia	2,5Y 8/2	412	Kairom	2,5Y 6/2
291	Moutenak	10YR 8/3	414	Kouroua	5Y 6/2
292	Djermaya	10YR 8/3	415	Kouroua	10YR 7/2
295	Massakory	10YR 8/2	416	Kouroua	10YR 6/3
296	Massakory	10YR 8/1	417	Kouroua	10YR 6/3
314	Mao	7,5YR 8/2	418	Gala-Ngodoum	5YR 4/4
315	Mao	10YR 6/4	423	Gala-Ngodoum	10YR 7/2
337	Ngéléa	10YR 6/4	424	Maou	2,5Y 6/2
338	Ngéléa	7,5YR 5/4	425	Maou	7,5YR 6/6
343	Kéliganga	10YR 5/3	426	Maou	10YR 7/2
344	Ouaïbela	10YR 8/4	430	Maou	2,5Y 6/2
345	Bourmi	10YR 8/2	432	Maou	10YR 8/3
347	Bourmi	10YR 6/4	446	Togoum	7,5YR 5/4
352	Kairom	10YR 5/2	449	Djigaré	10YR 8/6
353	Kairom	10YR 3/2	451	Djigaré	2,5YR 5/8
354	Kairom	10YR 7/3	454	Malili	7,5YR 6/4
356	Kairom	10YR 7/3	461	Katalui	10YR 6/4
357	Kairom	10YR 7/3	464	Fierom	10YR 6/4
360	Djermaya	10YR 6/4			

Les numéros : 44, 49, 58 et 63 correspondent à des échantillons du Bahr-el-Ghazal.



VII - MOLLUSQUES DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES
DE LA BORDURE NORD-EST DU LAC TCHAD.

=====

La détermination des mollusques recueillis a été faite par C. Levêque, hydrobiologiste attaché au centre ORSTOM de Fort-Lamy. Toutes les espèces rencontrées vivent encore actuellement dans le lac ou sur sa bordure à l'exception du genre Valvata qui n'a pas encore été retrouvé. La plupart des échantillons correspondent à un faciès d'eau peu profonde avec végétation aquatique semblable à celle qui borde aujourd'hui les rives et les îles du lac. Les échantillons 231, 329 et 587 indiquent un faciès plus profond dans une zone de courants. Les échantillons 231 et 329 proviennent d'un niveau bien délimité que l'on retrouve sur la pente des dunes dans la région de Bol entre les cotes 285 et 287,5 m. et qui marque une ancienne ligne de rivage.

N°	Origine	
231	Bol	Sable dunaire
329	Bol	Sable dunaire
297	Kairom	Sable limoneux
352	Kairom	Sable
358	Kairom	Sable limoneux
432-2	Sia	Limon
406-2	Wolirom	Limon
421	Maou	Limon
557	Liwa	Sable limoneux
559	Djou	Sable dunaire
562	Djou	Limon argileux
586	Gala Ngodoum	Limon
587	Gala Ngodoum	Limon
593	Gala Ngodoum	Limon calcaire
52	Bahr el Ghazal	Limon gris

Tableau 21

<u>MOLLUSQUES AQUATIQUES</u>	231	329	297	352	358	432 - 2	406 - 2	521	557	559	562	586	587	593	52
Gastéropodes															
1) - Prosobranches															
<i>Bellamyia unicolor</i>	hatched	hatched		hatched			hatched		hatched						
<i>Cleopatra cyclostomoides</i>	hatched			hatched					hatched	hatched					
<i>Gabbia</i> sp.			hatched	hatched	hatched	hatched			hatched						hatched
<i>Lanistes ovum</i>	hatched	hatched													
<i>Melania tuberculata</i>	hatched	hatched		hatched		hatched	hatched		hatched	hatched					hatched
<i>Pila wernei</i>	hatched	hatched													
<i>Valvata</i> sp.									hatched						
2) - Pulmones															
<i>Limnaea natalensis</i>			hatched					hatched	hatched		hatched				hatched
<i>Bulinus forskali</i>	hatched				hatched			hatched				hatched			hatched
<i>Bulinus truncatus</i>			hatched	hatched	hatched	hatched	hatched		hatched	hatched		hatched			hatched
<i>Biomphalaria pfeifferi</i>			hatched	hatched	hatched	hatched	hatched		hatched	hatched					hatched
<i>Biomphalaria sudanica</i>											hatched				
<i>Gyraulus costulatus</i>						hatched									hatched
<i>Anisus</i> sp.								hatched							
3) - Bivalves															
<i>Corbicula africana</i>	hatched														
<i>Caelatura lacoini</i>	hatched	hatched								hatched			hatched		
<i>Mutela dubia</i>	hatched	hatched											hatched		hatched
<u>MOLLUSQUES TERRESTRES</u>															
<i>Limicolaria</i> sp.											hatched			hatched	

Fig.30 MOLLUSQUES FOSSILES DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES DE LA BORDURE NORD-EST DU LAC TCHAD

VIII - ETUDE DES DIATOMÉES DE QUELQUES DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES
DE LA BORDURE NORD-EST DU LAC TCHAD.

Les diatomées ayant donné des dépôts très importants dans la cuvette tchadienne leur présence a été recherchée dans les formations sédimentaires étudiées par ailleurs. En l'absence d'autres fossiles l'étude des diatomées permettra d'établir des corrélations dans l'espace et surtout d'obtenir de meilleurs renseignements sur les milieux de sédimentation. L'étude a porté sur 22 échantillons, soit :

- 9 échantillons de limon récent
- 4 échantillons d'argile gris-bleu
- 8 échantillons de limon ancien
- 2 échantillons de sable de la base de série lacustre.

Quelques grammes de l'échantillon sont dispersés dans l'eau à l'aide d'un agitateur, puis une goutte de la suspension montée entre lame et lamelle, examinée au microscope. En plus de cet examen sommaire 4 échantillons ont été préparés selon une technique particulière puis étudiés en détail par Madame Servant au Centre ORSTOM de Fort-Lamy.

Toutes les formations étudiées, sauf les sables, renferment des diatomées. Elles sont très peu nombreuses et fragmentées dans le limon récent, abondantes et très peu fragmentées dans l'argile, très abondantes et fragmentées dans le limon ancien. Dans le limon ancien et l'argile les genres sont voisins et différent très nettement de ceux du limon récent ce qui écarte l'hypothèse d'un héritage à partir des niveaux plus anciens, hypothèse à laquelle faisait penser l'abondance des formes brisées.

L'étude détaillée des échantillons 427, 428 et 429 provenant d'une coupe faite au fond de l'ouadi de Maou (15°36'LN-14°37'LE) montre que les diatomées sont très abondantes à la base de la série dans le limon ancien où elles représentent 28% du sédiment (jusqu'ici le maximum rencontré dans les diatomites du Tchad est de 45%). Deux genres, *Melosira* et *Stephanodiscus*, représentent à eux seuls 99% des diatomées, les *Melosira* étant nettement prépondérantes avec 64%. Dans l'argile, la sédimentation biochimique représente 20%, les deux mêmes genres, *Melosira* et *Stephanodiscus* donnant 96% du stock. Proportionnellement les *Stephanodiscus* passent de 35 à 18%, les *Melosira* de 64 à 78%. Six autres genres font 4% du total alors que dans le limon ancien il n'y avait en plus des *Melosira* et des *Stephanodiscus* que 3 autres genres représentant ensemble 1%. Le limon récent est pauvre en diatomées, la part de la sédimentation biochimique n'y est que de 3%. Les genres sont très différents, les trois principaux ne représentent que 63%, le mieux représenté, le genre *Gomphonema*, n'intervenant que pour 28%. Les *Melosira* et les *Stephanodiscus* ont totalement disparu.

On a trouvé des diatomées (genre *Melosira*) dans les poussières éoliennes recueillies à Fort-Lamy entre le 28.2 et le 7.3.66. La présence de quelques diatomées dans un sédiment ne doit donc pas être abusivement attribuée à l'existence d'un milieu lacustre.

Etude des diatomées

Numéro des échantillons	Origine
Limons récents	
316	Latir
317	"
322	"
465	"
297	Kairom
<u>358</u>	"
331	Kaya
341	Ali-Farom
<u>427</u>	Maou
Argile structurée	
332	Kaya
<u>428</u>	Maou
435	Kaya
466	Latir
Limons anciens	
319	Latir
320	"
321	"
330	Bol
<u>429</u>	Maou
437	Kolokoko
467	Latir
469	"
Sable	
468	Latir
470	"

Tableau 22

Les numéros soulignés sont ceux des échantillons ayant fait l'objet d'une étude détaillée.

Etude des diatomées

Genres	Nombre d'individus		
	427	428	429
Gomphonema	38		
Navicula	24	4	
Melosira	23		
Cymbella	14	3	6
Primularia	11		
Synedra	10		
Rhopalodia	7		
Cymatopleura	3		
Epithemia	3	3	
Melosira granulata		299	
Melosira granulata angustissima		232) 699
Stephanodiscus		123	383
Surirella		1	1
Cocconeis		2	
Fragillaria		11	
Cyclotella			7
Total	133	678	1.096

Tableau 23

Genres	Pourcentages		
	427	428	429
Gomphonema	28		
Navicula	18		
Melosira	17		
Cymbella	10,5		
Primularia	8		
Synedra	7,5		
Rhopalodia			
Cymatopleura			
Epithemia			
Melosira granulata		44	
Melosira granulata angustissima		34) 64
Stephanodiscus		18,1	35
Surirella			
Cocconeis			
Fragillaria		1,6	
Cyclotella			

Tableau 24

IX - RESULTATS CONCERNANT LA NAPPE PHREATIQUE DU KANEM

IX/1 - Mesure de la conductivité.

Chaque fois que cela était possible, la conductivité de la nappe, atteinte soit à l'affleurement, soit dans les puits, soit par forages à la tarière, a été mesurée sur le terrain avec un conductivimètre Chauvin et Arnoux. Les valeurs obtenues sont indiquées dans les tableaux qui suivent. Les abréviations suivantes ont été employées :

C = conductivité à 25° exprimée en millimhos par cm.
d = densité (sans correction de température).
P = profondeur de la nappe en mètres.
N° = numéro de l'échantillon.

Toute une série de forages à la tarière ont permis de préciser les variations de la conductivité dans un même ouadi à un moment donné selon l'emplacement des mesures. L'ouadi de Maou, choisi pour cela, est situé à environ 8 km au nord du lac entre Bol et Baga-Sola. Les valeurs obtenues varient de 140 à 5139 micromhos. La profondeur de la nappe mesurée en chaque point au moment des mesures varie entre 0,65 et plus de 2,30 m.

IX/2 - Analyse chimique.

Un certain nombre d'échantillons ont été prélevés en vue de leur analyse chimique. Les résultats, donnés en milliéquivalents par litre, n'ont qu'une valeur indicative, les analyses ayant été faites au cours d'une phase de mise au point des méthodes avec un personnel non entraîné aux manipulations. Les dates indiquées sont celles du prélèvement et de l'analyse.

Origine	Date de la mesure	t _e eau	C.	d.	P.
Massakory	14. 3.66	29	0,87		14,80
Gonogoutor	14. 3.66	29	0,59		10,00
Bilasari	14. 3.66	22	1,28		6,20
Lekem	15. 3.66	27	0,51		7,00
Boulo Gayemi	15. 3.66	30	0,52		9,20
Mouzarak	15. 3.66	30	0,42		2,00
Ridjil Haz	15. 3.66	23	0,33		23,00
Digay	15. 3.66	29	0,71		8,10
Kairom	27. 11.66	24	0,60	0,994	1,95
Kangara	19. 3.66	29	0,98		2,60
Diarkouloula	19. 3.66	28	1,45		3,50
Wolirom	19. 3.66	29	0,44		8,10
Kamérom	19. 3.66	29	1,70		9,90

Conductivité dans les ouadis autour de Massakory.

tableau 25

Origine	Date de la mesure	t _e eau	t _e ext.	C.	d.	P.	N ^o .
Isseirom	8. 5.66	26	26	1,92		l ^a c mare	55
Isseirom	8. 5.66	24	28	4,21			56
Mbo	8. 5.66	25	26,5	1,09			
Andji-Bo	8. 5.66	27	29	0,17			57
Njigidada	8. 5.66	27	29	0,19			
Souta	8. 5.66	26,5	35	2,00			58
Dibinintchi	8. 5.66	28	34,5	0,23			59
Kiritia	26. 11.66	29		0,68	0,995	5,00	
Ngouri	8. 5.66	29,2	37	1,41			60
Gala Ngodoum	24. 11.66	31,8		0,37	0,993	11,10	

Conductivité dans les ouadis entre Isseirom et Ngouri

Tableau 26

Origine	Date de la mesure	te eau	te ext.	C.	d.	P.	Nº.
Latir	3. 5.66	27,6	38	2,64		0,19	54
Ali Farom	3. 5.66	34	42	0,27		lac	
Kafdi	3. 5.66	27	43	0,80			
Kafdi	23.11.66	28,4		0,29	0,994	0,90	
Fierom	3. 5.66	24,8	34	0,16		0,70	
Katarnandou	2. 5.66	25,8	35,3	0,53		0,55	
Katarnandou	23.11.66	27,6		0,16	0,994	1,39	
Ouaibela	23.11.66	28,8		0,57	0,993	2,57	
Moïlo	2. 5.66	31,6	39	1,06		lac	
Malanga	2. 5.66	31,3	43	0,33		4,10	
Keliganga	23.11.66	29,2		0,45	0,994	6,77	
Boula-Boulim	2. 5.66	31,8	41	0,45		7,85	

Conductivité dans les ouadis entre Bol et Mao

Tableau 27

Origine	Date de la mesure	te eau	te ext.	C.	d.	P.	Nº.
Djikaré	10.11.66	24,8		13,12	1,016	mare	42
Liwa	10.11.66	29,0		2,42	0,995	1,30	
Liwa	10.11.66	23,6		22,9	1,014	Mare	
Liwa	10.11.66	28,0		19,0	0,996	Mare	
Liwa	18.11.66	22,6		2,75	0,998	0,10	
Liwa	18.11.66	23,0		3,32	0,996	0,10	
Liwa	18.11.66	26,0		17,40	1,011	Mare	
Liwa	18.11.66	23,2		9,22	1,002	1,30	
Bifou Kengéla	10.11.66	20,0		45,0	0,999		
Kolokoko	25. 4.66	27,0	32	1,76		0,90	
Mayala	25. 4.66	29,8	34	0,65		1,10	
Mayala	11.11.66	24,8		0,74	0,994		
Bédara	25. 4.66	28,0	37	1,85		2,00	
Bédara	25. 4.66	47,0	37	57,00		Mare	
Bédara	11.11.66	27,3		1,88	0,994		
Bédara	11.11.66	26,8		53,00	1,147		
Bédara	11.11.66	26,8		17,1	1,010		
Bédara	11.11.66	28,8		82,6	1,234	Mare	
Andjia	25. 4.66	27,2		7,90		1,45	
Andjia	11.11.66	26,8		1,29	0,994		
Kaya	25. 4.66	27,0		40,00		Mare	
Kaya	25. 4.66	26,8		4,20		0,55	
Kaya	11.11.66	26,8		4,51	0,995		
Kaya	12.11.66	25,2		1,03	0,994		
Diglia Kouto	12.11.66	24,0		0,34	0,995		
Diglia	12.11.66	25,2		0,42	0,994		
Yaoula	12.11.66	21,2		1,20	0,937		

Conductivité dans les ouadis autour de Kaya et Liwa

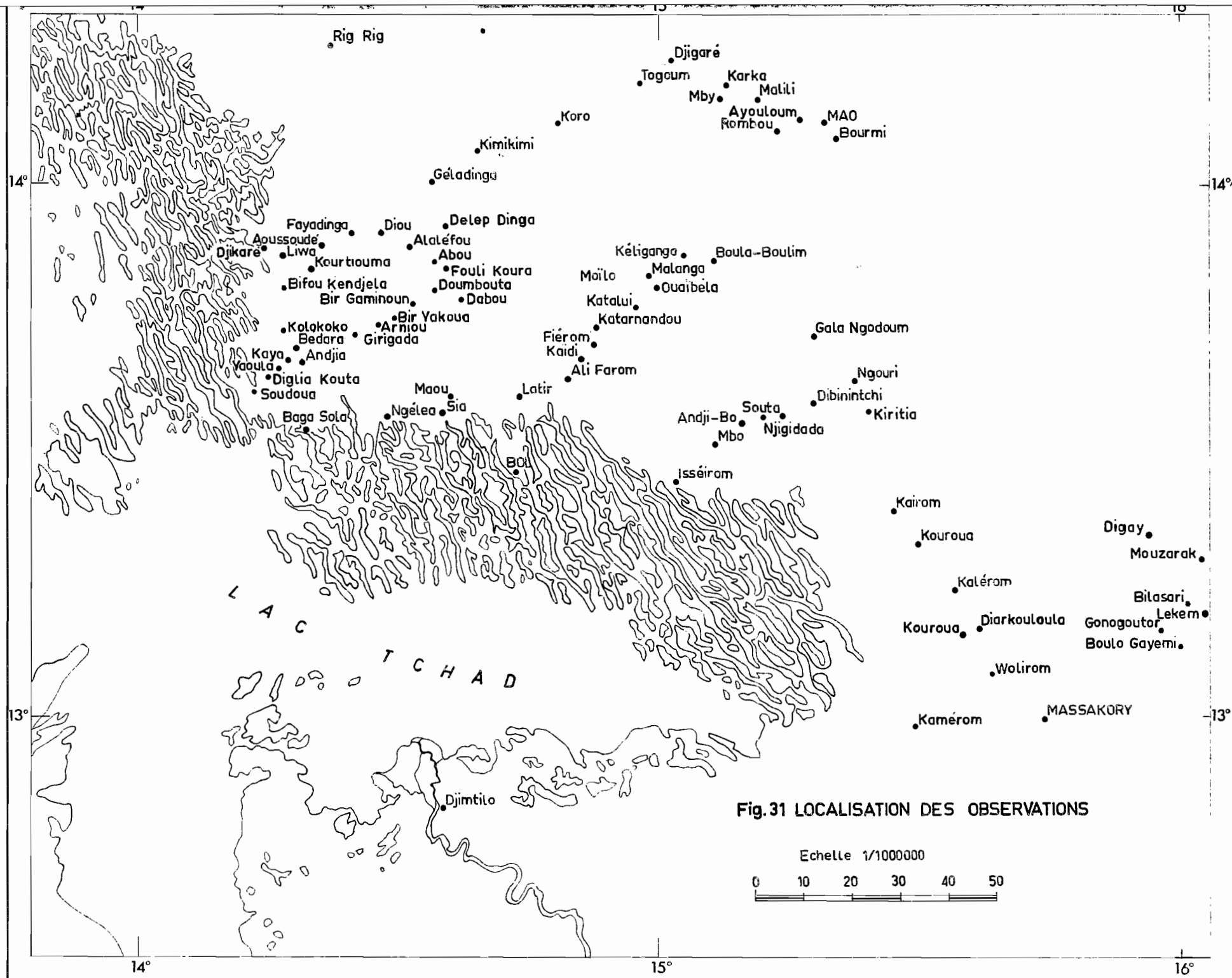
Tableau 28

Origine	Date de la mesure	te eau	te ext	C.	d.	P.	Nº
Yakrou	12.11.66	36		3,45	0,996		
Girigada	12.11.66	28		0,70	0,994		
Arniou	13.11.66	23,2		1,24	0,995		
Bir Yakou	13.11.66	22,6		0,19	0,996		
Bir Gaminoun	13.11.66	22,8		0,40	0,995		
Doumboula	13.11.66	21,2		0,36	0,995		
Fouli-Koura	13.11.66	25,8		0,38	0,995		
Dabou	13.11.66	21		0,14	0,995	lac	

Conductivité dans les ouadis du Nord-est de Kaya Tableau 29

Origine	Date de la mesure	te eau	te ext.	C.	d.	P.	Nº.
Kourtouma	26. 4.66	26,0	33,4	1,00		1,15	43
Kourtouma	18.11.66	17,0		1,29	0,994	2,40	
Aousoudé	26. 4.66	29,0	35	0,45		3,14	44
Aousoudé	18.11.66	28,6		0,57	0,994	2,90	
Fayadinga	26. 4.66	27,8	37	0,46		0,60	45
Fayadinga	18.11.66	27,0		0,59	0,993	0,85	
Djou	25. 4.66	29,4	39	0,58		0,90	46
Djou	25. 4.66	35,5	37	9,23		mare	
Djou	19.11.66	27,2		0,96	0,994	0,50	
Djou	19.11.66	21,2		0,87		0,36	
Djou	19.11.66	27,0		1,55	0,997	0,48	
Djou	19.11.66	23,2		1,44		0,40	
Alaléfou	26. 4.66	29,0	38	0,40		0,20	47
Alaléfou	20.11.66	21,2		0,14	0,994	0,25	
Mbou	20.11.66	21,6		0,25	0,994	0,95	
Mbou	20.11.66	20,0		15,90	1,009	lac	
Delep Dinga	20.11.66	21,8		0,43	0,995	0,55	
Géladinga	27. 4.66	25,0	35	0,15			48
Géladinga	20.11.66	23,3		0,15	0,995	mare	
Géladinga	20.11.66	24,0		0,57		lac	
Kimikimi	20.11.66	31,6		0,29	0,993	9,40	
Koro	27. 4.66	30,6	34	0,37		1,30	49
Koro	21.11.66	26,0		0,41	0,994	2,10	
Togoum	27. 4.66	29,0	28,3	0,15		2,40	50
Togoum	21.11.66	30,4		0,31	0,993	3,91	
Djigaré	29. 4.66	29,4	35	0,17		2,40	51
Djigaré	21.11.66	28,8		0,13	0,993		
Malili	30. 4.66	28,0	26	0,20		1,95	
Malili	30. 4.66	33		0,24		1,95	
Mby	22.11.66	28,0		0,15		1,90	
Karka	22.11.66	27,2		0,30		2,05	
Ayouloum	22.11.66	25,8		0,25	0,994	1,20	
Rombou	30. 4.66	29,0	33	19,11		Lac	52
Rombou	30. 4.66	28,2	36	0,18		1,10	53
Mao	1. 5.66	28,9	32	0,63		4,28	
Bourmi	1. 5.66	29,0	34	0,43		8,30	

Conductivité dans les ouadis entre Liwa et Mao Tableau 30



Numéro	21	20	P.17	79	17	13	42
pH	8,9	8,3		8,6	9,9	10	9,9
Conductivité	0,8	0,1		1,9	56	62	75,7
C1	0	0	3,8	1,7	47	0	+
SO4	0	0	58,3	2,2	10,4	13	18,9
HCO3	7,9	1,5	13,0	15,3	208	183	742
CO3	0,2	0	+	1,1	500	694	4770
HCO3 + CO3	8,1	1,5	13,0	16,4	708	877	5512
Total anions	8,1	1,5	75,1	20,3	765,4	890	5531
Ca	0,6	0,5	25,8	0,45	0,4	0,4	1,2
Mg	0,4	0,4	13,2	0,45	0,2	0,2	0,8
Na	5,2	0,35	41,0	11,5	742	920	5500
K	1,7	0,15	1,4	2,5	42	40	2100
Na + K	6,9	0,50	42,4	14,0	784	960	7600
Total cations	7,9	1,4	81,4	14,90	784,6	960,6	7602

21	Kairom	23.12.65	27.12.65	puits
20	Bol	22.12.65	27.12.65	lac
P.17	Bol	12.64		puits
79	Maou	16. 11.66	29.11.66	puits
17	Ngcléa	21.12.65	27.12.65	Mare
13	Andjia	20.12.65	27.12.65	puits
42	Bédara	25. 4.66	14. 5.66	mare

Résultats exprimés en milliéquivalents par litre.
 Date de prélèvement et date de l'analyse
 + = traces.

Analyse chimique de la nappe phréatique dans les ouadis
 de la bordure du lac Tchad.

N°	55	56	57	58	59	60
pH	7,5	9,6	7,4	7,4	9,1	7,8
Conductivité	0,24	7,57	0,22	2,05	1,99	1,3
Cl -	0	6	0	0	0,8	0,4
SO4 --	0,43	12,5	0,35	16,1	0,26	8,5
HCO3 -	1,65	44	1,2	5,8	16,0	6,35
CO3 - -	0	34	0	0	5,2	0
HCO3 + CO3. - -	1,65	78	1,2	5,8	21,2	6,35
Total anions	2,1	96,5	1,55	21,9	22,2	15,2
Ca ++	1,5	0,4	0,8	6,0	0,8	7,5
Mg ++	0,3	0,2	0,3	0,8	1,3	1,8
Na +	0,23	84,0	0,44	11,3	16,2	3,0
K +	0,2	6,6	0,16	1,35	3,35	2,10
Na+ + K +	0,43	90,6	0,60	12,65	19,55	5,10
Total cations	2,2	91,2	1,7	19,4	21,6	14,4

55	Isseirom	8.5.66	14.5.66	Lac
56	Isseirom	"	"	Mare
57	Andji-Bo	"	"	puits
58	Scuta	"	"	"
59	Dibinitchi	"	"	"
60	Ngouri	"	"	"

Analyse chimique de la nappe phréatique dans les ouadis
entre Isseirom et Ngouri

Tableau 32

N°	14	84	15	83	54	85	18	19
pH	9,2	7,8	8,4	8,1	8,3	8,0	8,9	8,7
Conductivité	0,45	0,10	0,3	0,46	0,89	0,2	0,7	0,5
Cl ⁻	0,1	0,1	0,5	0,2	0,4	0	0,1	0
SO ₄ ⁼⁼	0	0	+	0,1	0	0	0,4	0
HCO ₃ ⁻	4,9	1,2	1,8	3,2	10,3	1,6	6,8	5,9
CO ₃ ⁼⁼	0	0	0	0	1,0	0	0,8	0
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁼⁼	4,9	1,2	1,8	3,2	11,3	1,6	7,6	5,9
Total anions	5	1,3	2,3	3,5	11,7	1,6	8,1	5,9
Ca ⁺⁺	2,9	0,7	1,8	3,1	2,4	1,0	2,4	2,7
Mg ⁺⁺	0,6	0,3	0,6	0,15	0,2	0,2	0,8	1,0
Na ⁺	0,7	0,3	0,55	0,9	5,25	0,47	3,7	1,3
K ⁺	0,3	0,17	0,2	0,6	1,88	0,05	1,2	0,7
Na ⁺ + K ⁺	1,0	0,47	0,75	1,5	7,13	0,52	4,9	2,0
Total cations	4,5	1,5	3,1	4,7	9,8	1,7	8,1	5,7

14	Katarnandou	22 . 12. 65	27 . 12. 65	puits
84	"	23 . 11. 66	29 . 11. 66	"
15	Ouaïbela	22 . 12. 65	27 . 12. 65	"
83	"	23 . 11. 66	29 . 11. 66	"
54	Mollo	2 . 5. 66	14 . 5. 66	lac
85	Kafdi	23 . 11. 66	29 . 11. 66	puits
18	Latir	17 . 12. 65	27 . 12. 65	"
19	"	"	"	"

Analyse chimique de la nappe phréatique dans les ouadis
entre Bol et Mao.

Tableau 33

Nº	43	44	45	46	47	48	80	49
pH	9,5	9	8,2	7,9	7,4	7,5	8,2	6,6
Conductivité	0,99	0,55	0,48	0,59	0,44	0,19	0,33	0,51
Cl ⁻	0,4	0	0,4	0,4	0	0	0,7	0
SO ₄ ⁻	3,1	0,70	0,04	0,04	1,0	0,17	0,2	2,1
HCO ₃ ⁻	4,8	3,5	4,2	5,5	2,7	1,2	2,2	0,9
CO ₃ ⁻	0,7	0	0,6	0,7	0	0	0	0
HCO ₃ + CO ₃	5,5	3,5	4,8	6,2	2,7	1,2	2,2	0,9
Total anions	9,0	4,2	5,24	6,28	3,7	1,4	3,1	3,0
Ca ⁺⁺	2,7	1,1	1,3	2,1	1,6	0,9	1,5	1,6
Mg ⁺⁺	0,9	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	0,25	0,5
Na ⁺	3,2	1,82	2,34	2,90	1,45	0,17	1,2	0,63
K ⁺	2,15	1,27	0,29	0,48	0,45	0,10	0,5	0,15
Na ⁺ + K ⁺	5,3	3,09	2,63	3,38	1,90	0,27	1,7	0,78
Total cations	8,95	4,5	4,43	6,1	4,8	1,9	3,45	0,78

43	Kourtiouma	26. 4. 66	14. 5. 66	puits
44	Aousoudé	"	"	"
45	Fayadinga	"	"	"
46	Djou	"	"	"
47	Alaléfou	"	"	"
48	Géladinga	27. 4. 66	"	lac
80	"	20.11. 66	29. 11. 66	puits
49	Koro	27. 4. 66	14. 5. 66	"

Analyse chimique de la nappe phréatique dans les ouadis
entre Liwa et Mao.

N°	50	81	82	52	53	12	16
pH	7,3	7,6	8,0	9,7	7,9	9,1	8,5
Conductivité	0,15	0,24	0,22	14,39	0,25	0,1	0,5
Cl ⁻	0,4	0,6	0	9,2	0	10	0
SO ₄ ⁻	0	0,8	0,2	19,3	0,7	56	3,4
HCO ₃ ⁻	1,5	1,0	2,0	80,75	1,3	50	1,2
CO ₃ ⁻	0	0	0	123,5	0	12	0
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	1,5	1,0	2,0	204,25	1,3	62	1,2
Total anions	1,9	2,4	2,2	233	2,0	128	4,6
Ca ⁺⁺	0,8	1,3	1,4	0,1	0,9	1,1	3,6
Mg ⁺⁺	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,5	0,8
Na ⁺	0,31	0,45	0,5	198,0	0,46	99,0	0,3
K ⁺	0,08	0,15	0,2	48,5	0,18	15	0,1
Na ⁺ + K ⁺	0,39	0,60	0,7	246,5	0,64	114	0,4
Total cations	1,3	2,1	2,3	246	1,9	115,6	4,8

50	Togoum	28. 4. 66	14. 5. 66	puits
81	"	21. 11. 66	29. 11. 66	"
82	Ayouloum	22. 11. 66	29. 11. 66	"
52	Rombou	30. 4. 66	14. 5. 66	lac
53	"	"	"	puits
12	Mao	16. 12. 65	27. 12. 65	"
16	Bourmi	22. 12. 65	27. 12. 65	"

Analyse chimique de la nappe phréatique dans les ouadis de la région de Mao.

N°	61	62	63	64	65	66
pH	7,8	8,2	9,7	8,8	7,0	8,0
Conductivité	2,2	0,6	14,1	2,3	0,1	1,8
Cl ⁻	1,6	0,5	39,0	3,6	0,3	5,7
SO ₄ ⁼⁼	15,3	2,6	17,8	3,8	0	5,0
HCO ₃ ⁻	6,8	3,6	64,0	16,8	1,0	4,6
CO ₃ ⁼⁼	0	0,4	60,0	2,0	0	0,8
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁼⁼	6,8	4,0	124,0	18,8	1,0	5,4
Total anions	29,7	7,1	180,8	26,2	1,3	16,1
Ca ⁺	9,9	1,4	0,6	0,6	0,4	2,8
Mg ⁺	4,4	1,0	1,2	0,25	0,1	1,2
Na ⁺	8,7	2,1	143,0	18,0	0,2	10,4
K ⁺	1,4	0,5	10,0	1,4	0,2	0,75
Na ⁺ + K ⁺	11,1	2,6	153,0	19,4	0,4	11,15
Total cations	24,4	5,0	154,8	20,25	0,9	15,15

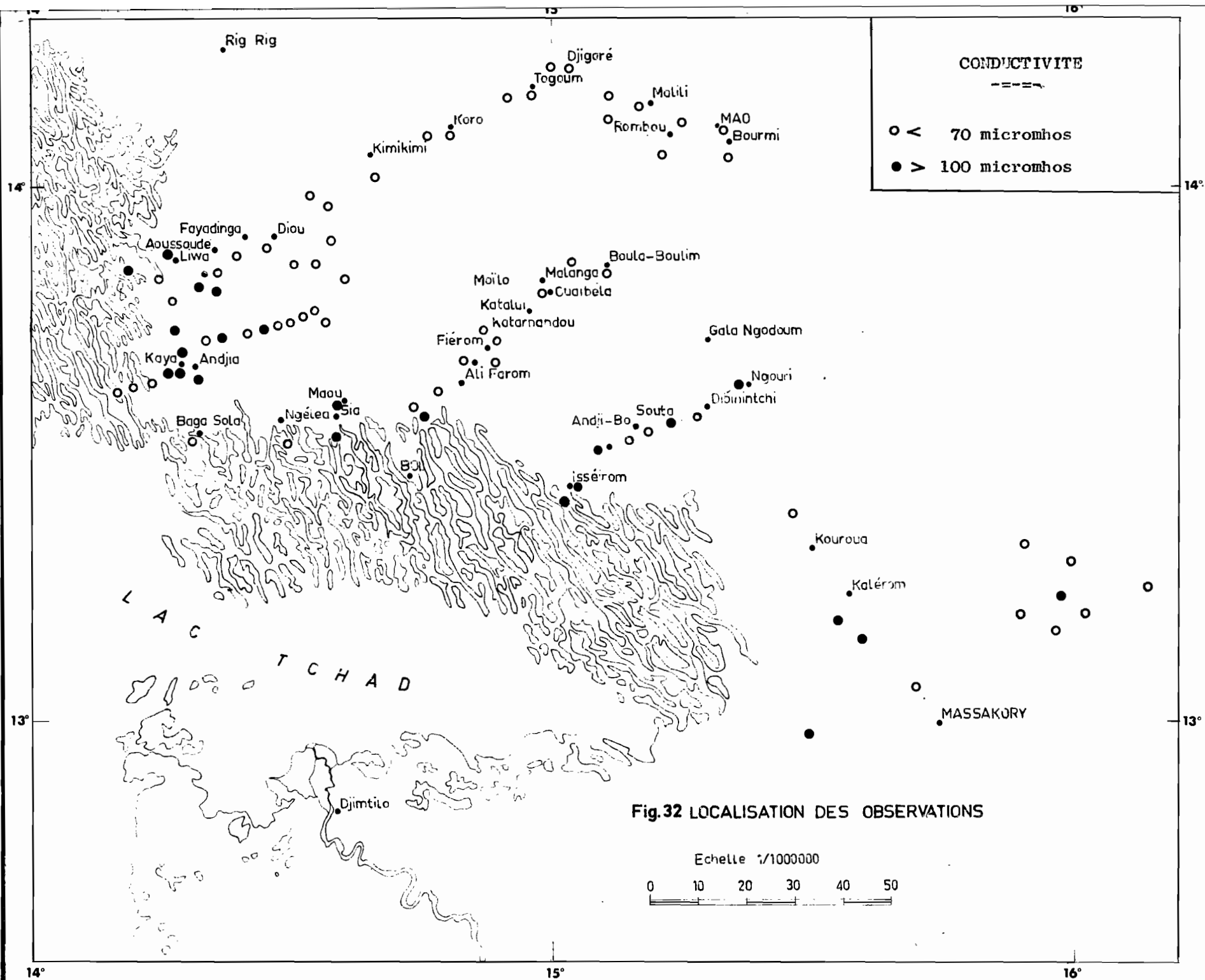
61	Salal	19.	2.	66	2.	3.	66	puits
62	Koro-Toro	19.	2.	66	"			"
63	Broulkiou	20.	2.	66	"			"
64	Tchié	19.	2.	66	"			"
65	Largeau	20.	2.	66	"			source
66	Pays-Bas	22.	2.	66	"			puits

Analyse chimique de la nappe phréatique entre
Salal et Largeau (B.E.T.).

N°	61	62	63	64	65	66
pH	7,8	8,2	9,7	8,8	7,0	8,0
Conductivité	2,2	0,6	14,1	2,3	0,1	1,8
Cl ⁻	1,6	0,5	39,0	3,6	0,3	5,7
SO ₄ ⁼⁼	15,3	2,6	17,8	3,8	0	5,0
HCO ₃ ⁻	6,8	3,6	64,0	16,8	1,0	4,6
CO ₃ ⁼⁼	0	0,4	60,0	2,0	0	0,8
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁼⁼	6,8	4,0	124,0	18,8	1,0	5,4
Total anions	29,7	7,1	180,8	26,2	1,3	16,1
Ca ⁺	9,9	1,4	0,6	0,6	0,4	2,8
Mg ⁺	4,4	1,0	1,2	0,25	0,1	1,2
Na ⁺	8,7	2,1	143,0	18,0	0,2	10,4
K ⁺	1,4	0,5	10,0	1,4	0,2	0,75
Na ⁺ + K ⁺	11,1	2,6	153,0	19,4	0,4	11,15
Total cations	24,4	5,0	154,8	20,25	0,9	15,15

61	Salal	19.	2.	66	2.	3.	66	puits
62	Koro-Toro	19.	2.	66	"			"
63	Broulkiou	20.	2.	66	"			"
64	Tchié	19.	2.	66	"			"
65	Largeau	20.	2.	66	"			source
66	Pays-Bas	22.	2.	66	"			puits

Analyse chimique de la nappe phréatique entre
Salal et Largeau (B.E.T.).



OUADI DE MAOU (novembre 1966)

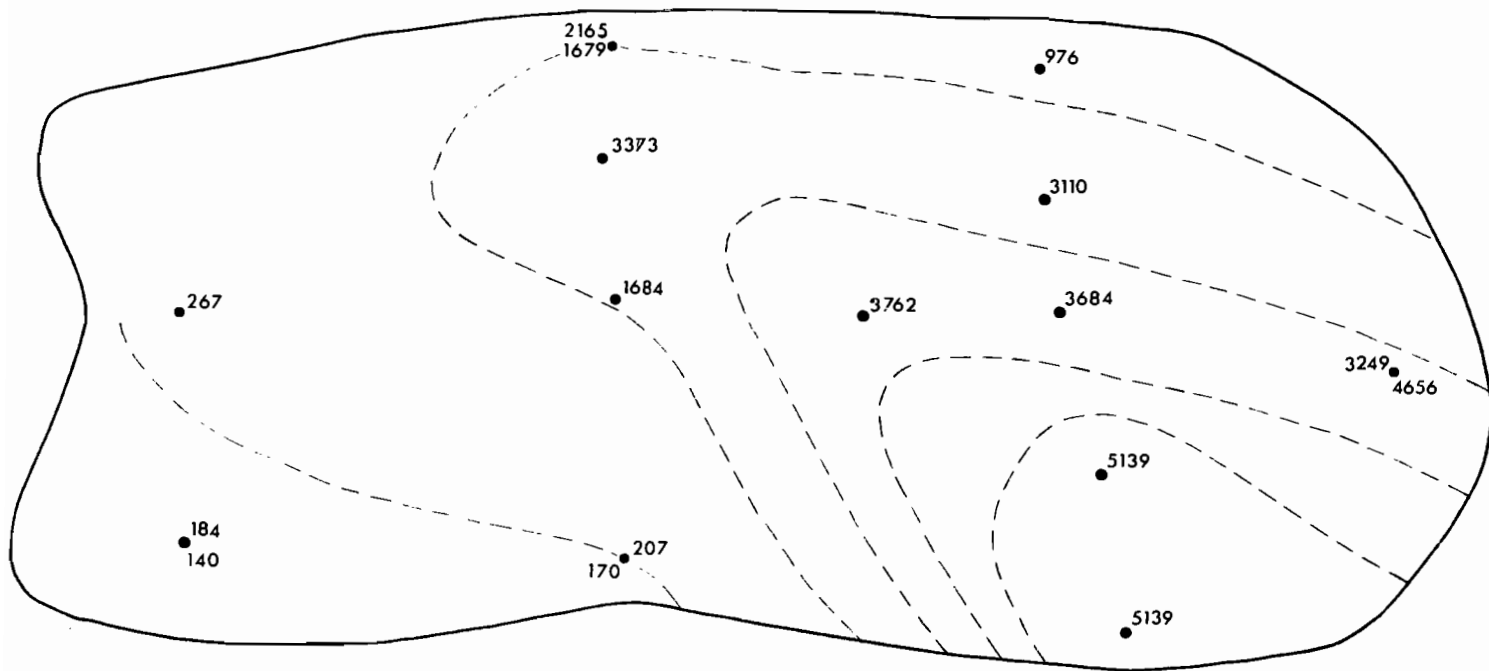


Fig. 33 CONDUCTIVITE A 25° EN MICROMHOS

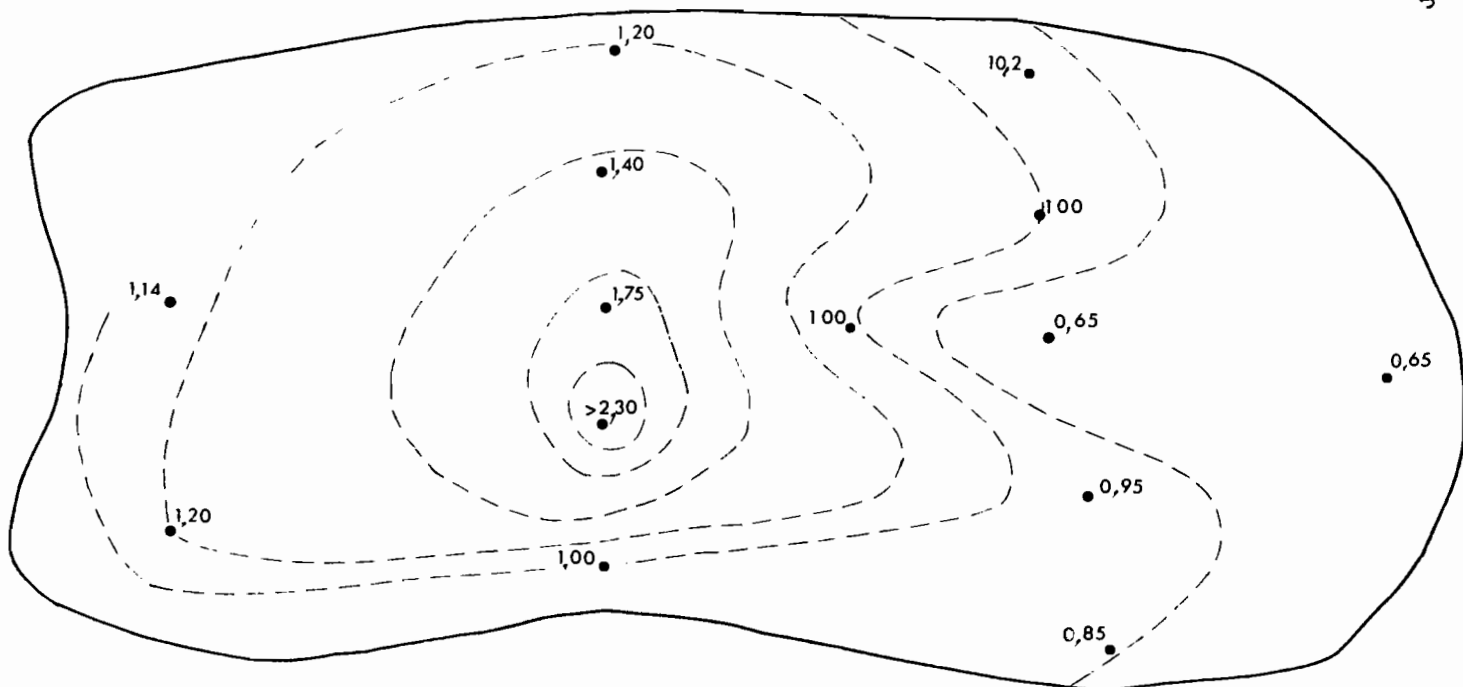
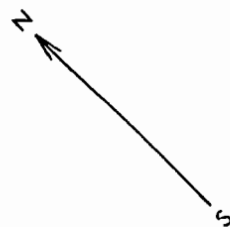


Fig. 34 PROFONDEUR DE LA NAPPE EN METRES.

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

LABORATOIRE
N. BIKKALOH

LEGENDE

Figure	no	Origine	pH
---	55	Lac Isseïrom	
—	14	Katamandou	
- - -	53	Rombou	
- · - · -	15	Ouaibela	
- · - · -	19	Latir P	
—	57	Andji Bo	
·····	20	lac Bol mé- téo	
·····	2	Logone	

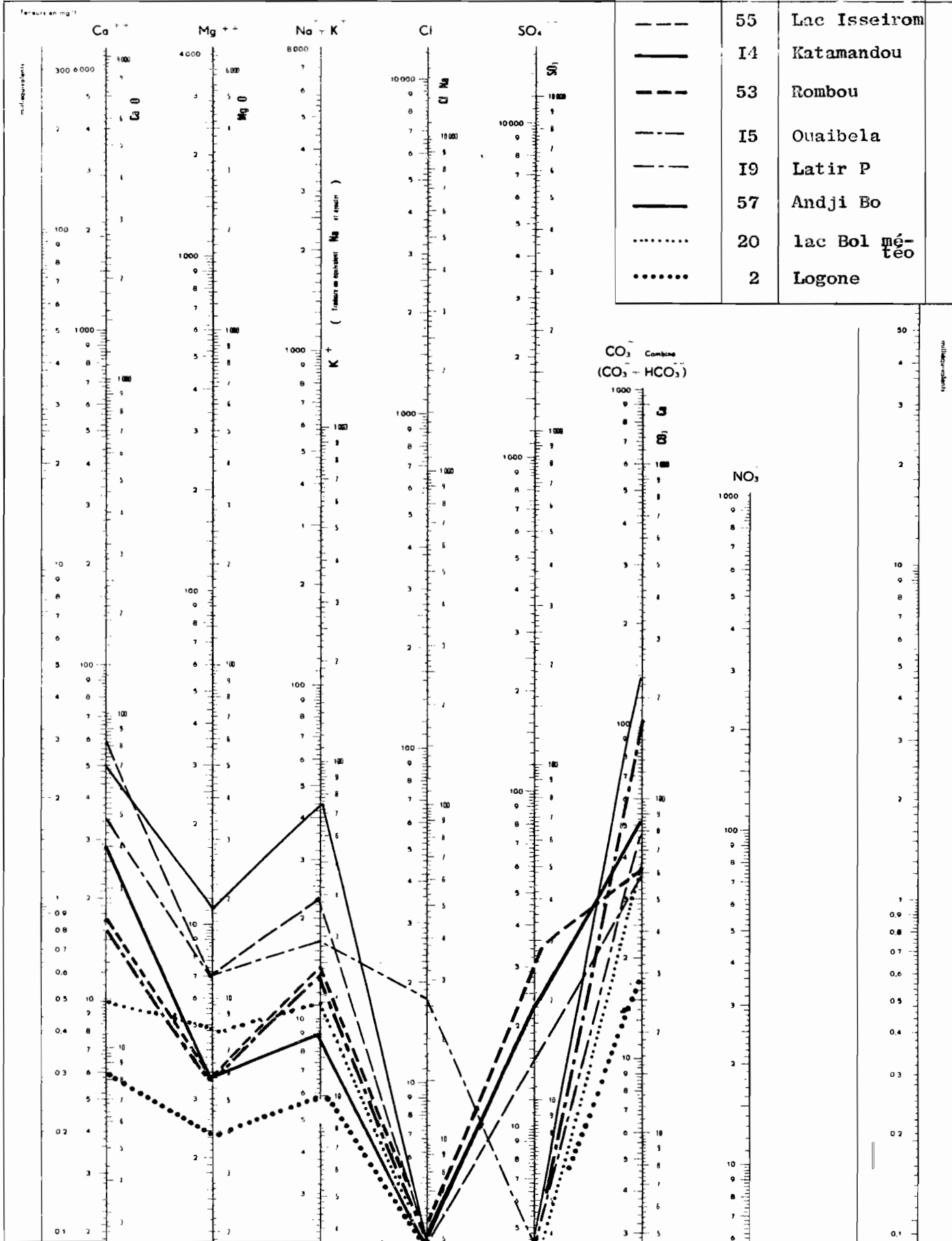


Fig. 35

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

PAR H. SCHUELER
ET S. BIKKALOH

LEGENDE

Figure	no		pH
—	10	Latir nappe	
- - -	54	MoFlo	
- - -	59	Dibinintchi	
—	21	Kairom	

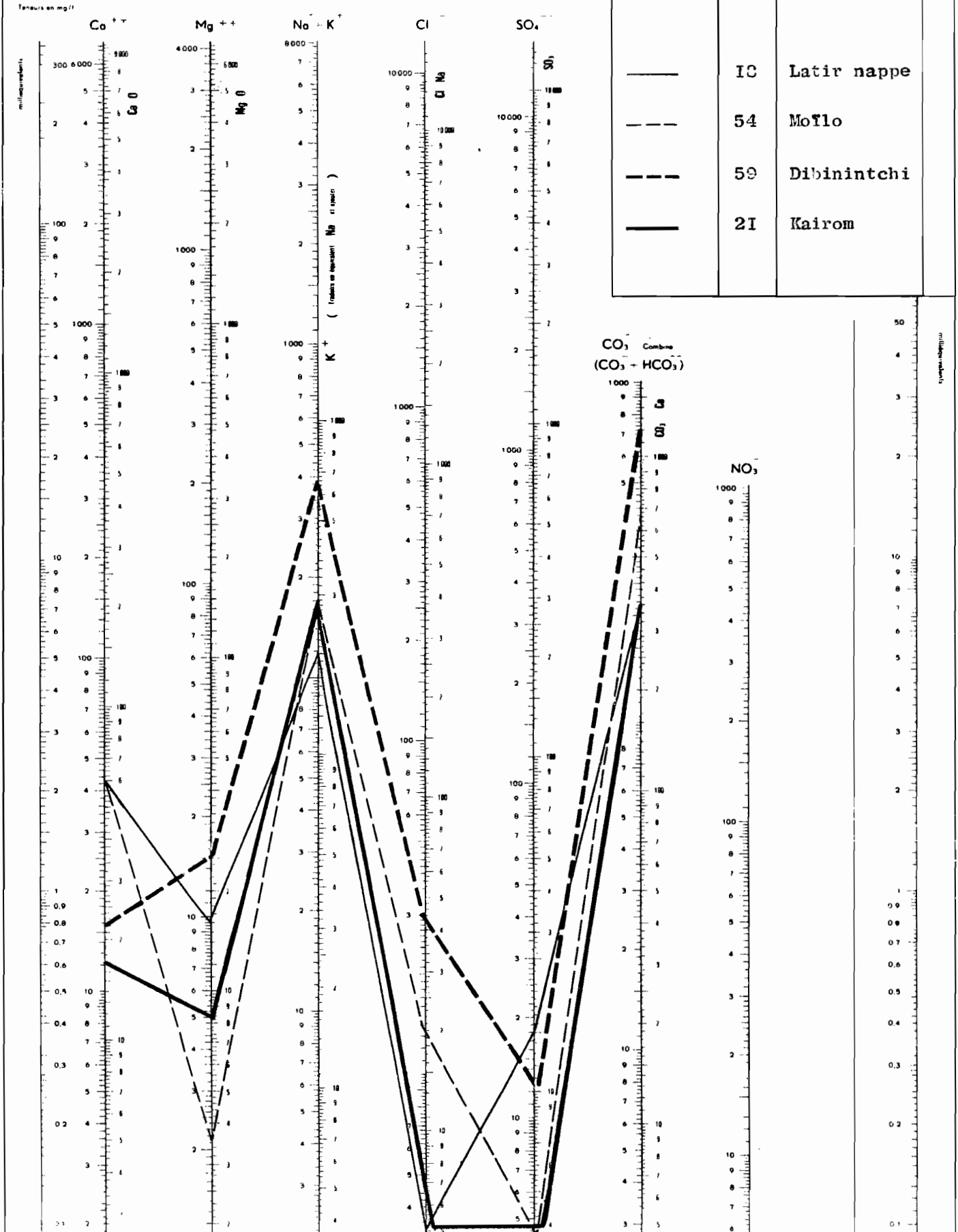


DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

LEGENDE

Figure	no		pH
—	58	Souta	
- - -	60	Ngouri	
—	49	Koro	
- - -	IG	Bourmi	

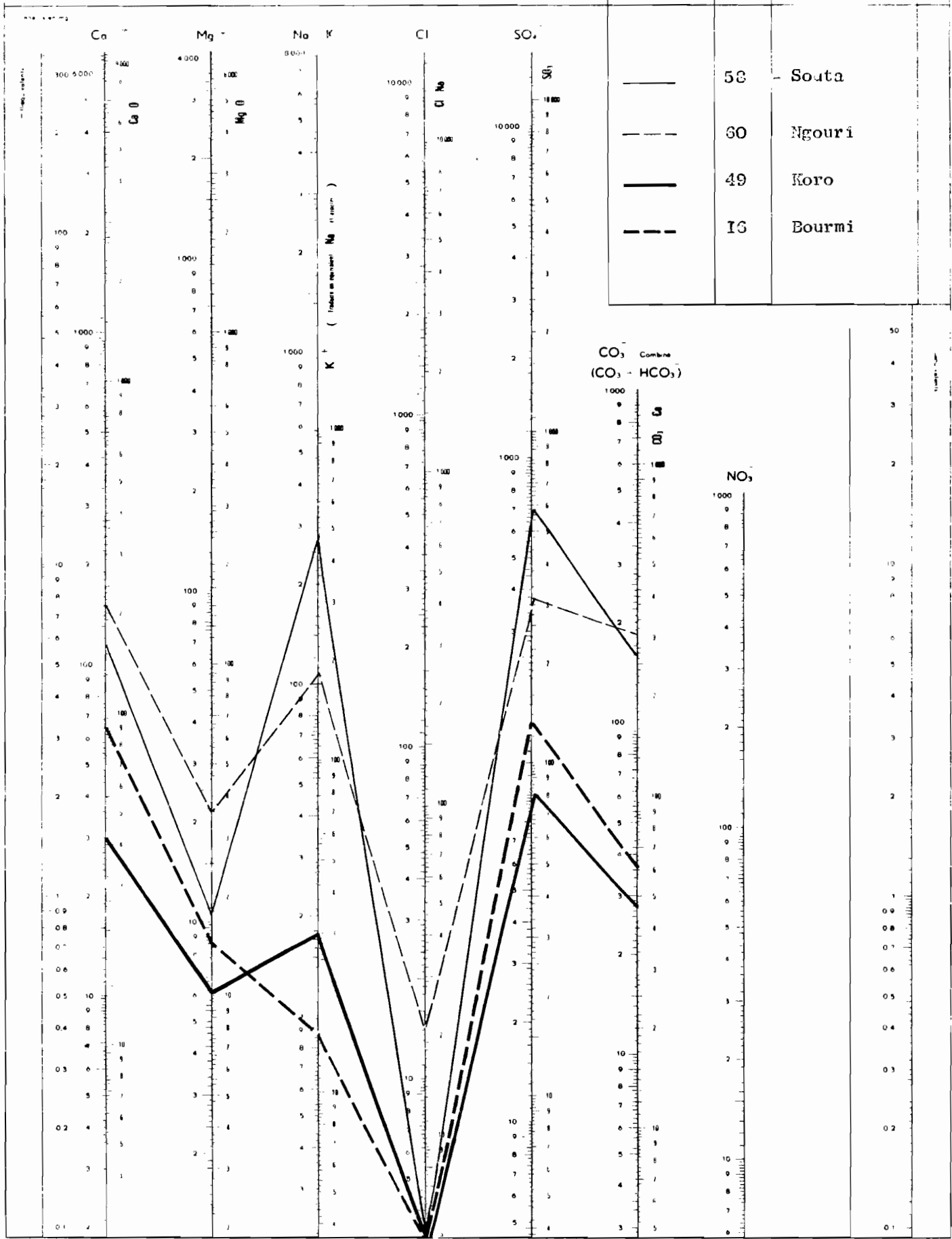


Fig. 37

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

LEGENDE

Figure	no	Origine
--------	----	---------

- | | | |
|-------|----|-----------------|
| | 17 | Bara-Sola |
| ----- | 42 | Bédara |
| ———— | 12 | Mao |
| ----- | 13 | Andjia |
| ———— | 50 | Issetrom(ouadi) |
| ----- | 52 | Bombou (lac) |

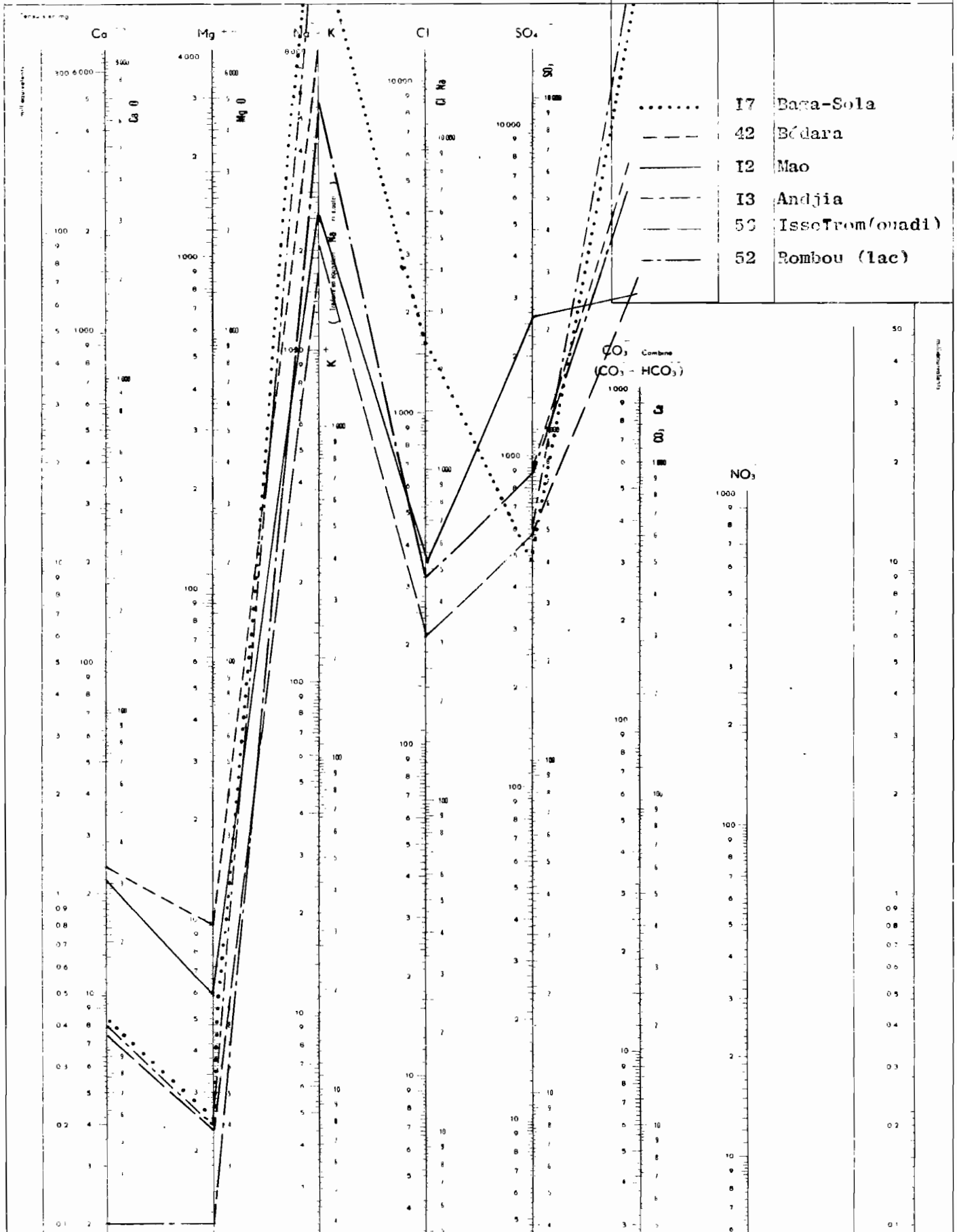


Fig. 38

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

W. SCHÖLLER
et N. BRASSIOT

LEGENDE

Figure	n°	Origine	
—	61	Salal	7,8
—	62	Koto Toro	8,2
- - -	63	Broulkiou	7,7
- · - · -	64	Tchié	8,8
·····	65	Largeau	7,0
- - -	66	Pays Bas	8,0

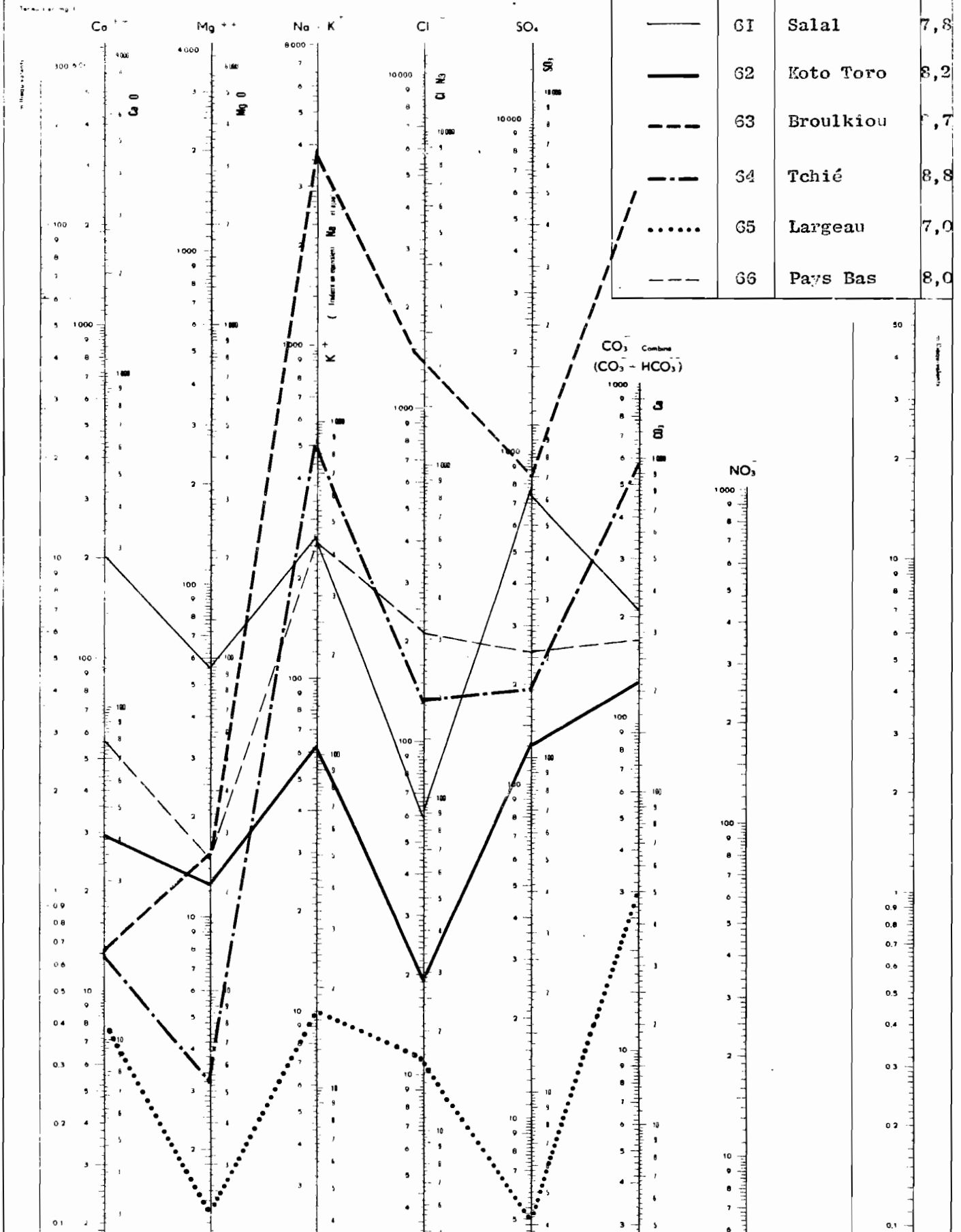


Fig. 39

Rapport des carbonates aux sulfates et des alcalins aux alcalino-terreux dans les eaux de la nappe du Kanem.

N°	Origine		$\frac{\text{HCO}_3 + \text{CO}_3}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$
21	Kairom	puits		69
20	Bol	lac		0,5
P.17	Bol	puits	0,2	1,0
79	Maou	puits	0,7	15
17	Ngéléa	mare	70	1300
13	Andjia	puits	67,5	1600
42	Bédara	mare	291	3800
55	Isseïrom	lac	3,8	0,2
56	"	mare	6,2	15,1
57	Andi-Bo	puits	3,4	0,5
58	Souta	puits	0,3	1,8
59	Dibinitchi	"	81	9,3
60	Ngouri	"	0,6	0,5
14	Katarnandou	"		0,3
84	"	"		50
15	Ouaïbela	"		0,3
83	"	"	32	0,5
54	Moflo	lac		2,7
85	Kaïdi	puits		0,4
18	Latir	"	19	1,5
19	Latir	puits		0,5
43	Kourtiouma	"	1,8	1,4
44	Aousoudé	"	5	2,2
45	Fayadinga	"	120	1,4
46	Djou	"	155	1,2
47	Alaléfou	"	2,7	0,8
48	Géladinga	lac	12	0,1
80	"	puits	11	
49	Koro	"	0,4	0,3
50	Togoum	"		0,4
81	Togoum	puits	1,9	0,4
82	Ayouloum	"	10	0,4
52	Rombou	lac	17	1230
53	"	puits	1,8	0,5
12	Mao	"	1,1	71
16	Bourmi	"	0,3	0,1

Tableau

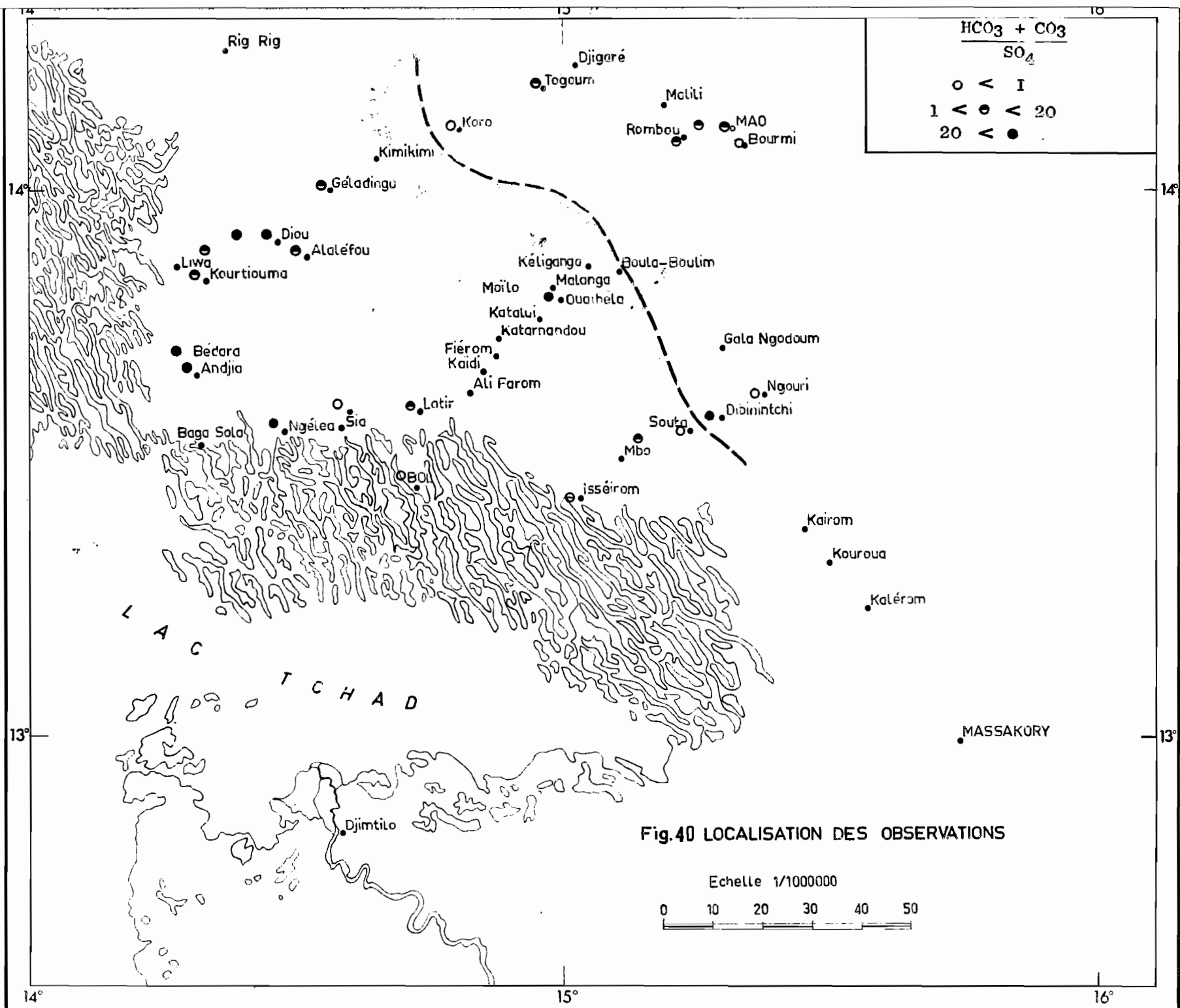
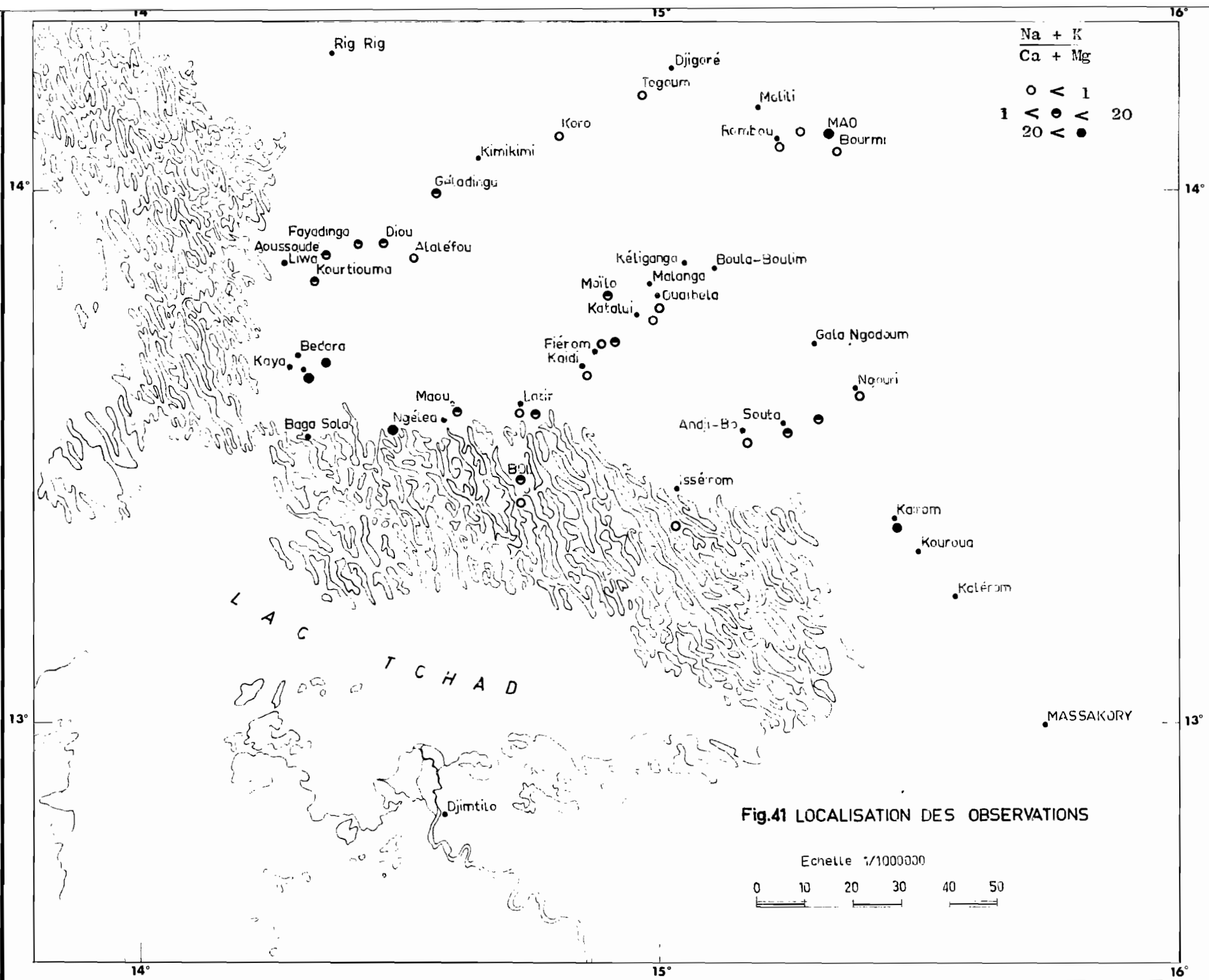


Fig.40 LOCALISATION DES OBSERVATIONS



BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- Barbeau J. (1956). Hydrogéologie du bassin tchadien.
Bull. Dir. Min. Géol. A.E.F., n° 7, p. 95-98, n° 8, p. 126-133.
- Barbeau J. (1956). Notice explicative sur la feuille de Fort-Lamy.
Carte géologique de reconnaissance au 1/100.000^e, Gouvernement général de l'AEF, Paris, 35 p.
- Barbeau J. (1959). Les abords orientaux du lac Tchad.
C.R. Soc. Géol. Fr., p. 110.
- Bocquier G. et Gavaud M. (1964). Etude pédologique du Niger oriental.
Rapport ORSTOM, Centre de recherches pédologiques de Dakar-Hann, 2 t., 347 p.
- Bouchardeau A. et Lefèvre R. (1957). Monographie du lac Tchad.
Tome I, ORSTOM, Com. Sci., Logone-Tchad, Fort-Lamy, 112 p.
- Cheverry Cl. (1965). Essai de caractérisation des sols des polders de Bol (rives du lac Tchad).
Rapport ORSTOM, Centre de Fort-Lamy, 120 p., ronéot.
- Dieleman P.J. et De Ridder N.A. (1964). Expertise sur le mouvement des eaux et du sel dans le polder de Bol-Guini.
Institut inter. pour l'amélioration et la mise en valeur des terres. Wageningen, Pays-Bas, 40 p., 12 fig., 3 tab.
- Faure H. (1962). Esquisse paléogéographique du Niger oriental depuis le crétacé.
C.R.A.S., t. 254, n° 26, p. 4485-4486.
- Faure H. (1962). Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger Oriental.
Thèse, 15 nov. 1962, Paris, Mémoires du BRGM, n° 29.
- Faure H. (1965). Evolution des grands lacs sahariens à l'holocène.
Note présentée au congrès de l'INQUA, Denver, août 1965.
- Faure H. et Manguin E. (1965). Paléosalinité des lacs sahariens du quaternaire récent d'après les diatomées.
Ann. Fac. Sc., Dakar.
- Grove A.T. (1958). The ancient erg of Hausaland and similar formations on the south side of the Sahara.
Géogr. Journal, LXXXI, p. 528-533.
- Grove A.T. (1959). A note on the former extent of Lake Chad.
Géogr. Journal, 125, p. 465-467.
- Grove A.T. et Pullan R.A. (1963). Some aspect of the pleistocène paléogéography of the Chad Basin.
African Ecology and Human Evolution, Anthropology n° 36.

- Guichard E.** (1957). Eaux du lac Tchad et mares permanentes au nord d'Ira (campagne 1955 et 1956).
Rapport ORSTOM, Centre de Fort-Lamy.
- Guichard E.** (1957). Sédimentations du lac Tchad.
ORSTOM, Commission scientifique Logone-Tchad, 46 p., ronéo., tabl., croquis, biblio., 1 carte h.t.
- Guichard E.** (1961). Etude pédologique des ouadis de Ngouri à Njigidada.
ORSTOM, Centre de Fort-Lamy, 112 p. ronéo., 13 graph., 3 carte h.t.
- Millot G. et Paquet H.** (1966). Analyse aux rayons X de 14 échantillons de sols de la bordure nord-est du lac Tchad.
Université de Strasbourg, laboratoire de Géologie, 3 p., 14 graph.
- Pias J. et Barbery J.** (1957). Etude pédologique des cuvettes lacustres de la bordure du lac Tchad.
ORSTOM, Centre de Fort-Lamy, 20 p., ronéo., 5 graph. tabl.
- Pias J.** (1958). Transgression et régression du lac Tchad à la fin de l'ère tertiaire et au quaternaire.
C.R. Ac. Sc., t. 246, p. 800-803.
- Pias J. et Guichard E.** (1959). Etude pédologique des rives du lac Tchad de Djimtilo à Bol.
C.C.T.A., 3è conf. interafr. des sols, Dalaba, n° 50, p. 449-456.
- Pias J.** (1960). Sédimentation au quaternaire dans l'est de la cuvette tchadienne (massif de l'Ouaddaï et de l'Ennedi, plaines de piémonts).
C.R. Ac. Sc., t. 250, n° 8, p. 1515-1516.
- Pias J.** (1961). Etude pédologique d'ouadis dans la région de Mao et Tiona.
ORSTOM, Centre de Fort-Lamy, 48 p., ronéo., carte.
- Pias J.** (1962). Les sols du moyen et bas Logone, du bas Chari, des régions riveraines du lac Tchad et du Bahr el Ghazal.
ORSTOM, 438 p., 32 pl., tabl., bibl., 14 cartes h.t.
- Pullan R.A.** (1964). The recent geomorphological evolution of the south central part of the Chad Basin.
Journ. West Afric. Sc. Assoc., vol. 9, n° 2, october, p. 115-139, 3 fig., bibl.
- Schneider J.L.** (1966). La nappe phréatique du Tchad.
Travaux du B.R.G.M., mai 1966, 8 p., 2 cartes, bibl.
- Schneider J.L.** (1966). Relations entre le lac Tchad et la nappe phréatique (République du Tchad).
A.I.H.S. publication n° 70, p. 122-131, 3 fig., bibl.
- Schneider J.L.** (1966). Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/500.000^e, notice explicative de la feuille de Mao.
B.R.G.M. République du Tchad, ministère des travaux publics, 11 p., carte.
- Schneider J.L.** (1966). Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/500.000^e, feuille de Mao : rapport de synthèse.
B.R.G.M., représentation du Tchad, 51 p., carte.
- Tilho J.** (1914). Documents scientifiques de la mission Tilho, 1906-1909.
Paris, Larose, 3 vol.
-