

**THÈSE**

présentée

**A L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE  
PARIS VI**

pour obtenir

**LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR**

par

**ISMAIL HASSAN**

---

**LES SOLS DU DELTA DU NIL**

**Importance de l'environnement sur leur formation et leur évolution**

---

Soutenu le 14 novembre 1977 devant la Commission d'Examen :

**P. ROGNON ... Président**

**R. LETOLLE }  
G. AUBERT } Examineurs  
J. SERVENT }**

## T A B L E   D E S   M A T I E R E S

	<u>Pages</u>
AVANT-PROPOS	
INTRODUCTION	
PREMIERE PARTIE : Le milieu naturel (physiographie) :	
1 - Localisation (Position géographique)	1
2 - Géologie et Géomorphologie	1
3 - Topographie	4
4 - Les sédiments du delta du Nil	6
5 - Climat	8
6 - Hydrologie	12
a. Irrigation	13
b. Besoin en eaux des cultures	15
c. Drainage	16
DEUXIEME PARTIE : Les sols étudiés :	18a
1 - Les profils (descriptions morphologiques)	18a
2 - Micromorphologie	18b
3 - Granulométrie et texture	19
a. Généralités, données bibliographiques	19
b. Texture des sols étudiés	22
c. Etude du mode de dépôt des sédiments	27
4 - Principales caractéristiques texturales et chimiques des sols du delta	31
a. Les principales caractéristiques texturales et chimiques des couches des profils étudiés dans les quatre transects	31
b. Les analyses statistiques	36
c. La salure	38

5 - Caractères minéralogiques	45
A - La composition minéralogique des sables	45
B - La composition minéralogique du limon	48
C - Etudes des minéraux argileux des sols du delta	51
6 - Classification	62
TROISIEME PARTIE : Interprétation et conclusions	75
A - Formation des matériaux	75
B - Formation des sols (Pédogenèse actuel)	78
C - Utilisation agricole du sol	84
BIBLIOGRAPHIE	90

## AVANT - PROPOS

---

Le travail présenté dans cette thèse, concerne une étude pédologique sur la région du delta du Nil. Il a été effectué sur le terrain d'Août 1974 à Mars 1975 ; il a été poursuivi dans les laboratoires des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy jusqu'en Septembre 1976. Enfin, la rédaction a occupé au moins un an. Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui, par leur aide, sur le terrain ou au laboratoire, par leurs conseils, par leur amitié, m'ont permis de mener ce travail à son terme.

Il a pu être effectué grâce à la direction de Monsieur le Professeur G. AUBERT, qui m'a accueilli et a suivi mes travaux dès le début. J'ai beaucoup appris grâce à ses critiques et à ses conseils longs et patients, qui m'ont été d'autant plus précieux qu'ils s'appuyaient sur sa vaste expérience des sols du monde.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur P. ROGNON, qui a bien voulu accepter de présider la Commission du Jury. Il n'a jamais hésité à m'aider malgré toutes ses préoccupations.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur le Professeur LETOLLE de PARIS VI Monsieur SERVANT de l'INRA, qui se sont intéressés à mon travail et ont aimablement accepté de faire partie de ce jury.

Monsieur G. PEDRO, Directeur de Recherches de l'INRA, a bien voulu revoir mon chapitre sur les argiles ; je lui en suis très reconnaissant.

Je tiens à exprimer ma très vive gratitude à Monsieur B. DABIN, Inspecteur Général de Recherches de l'ORSTOM et Chef des laboratoires communs ainsi que du laboratoire de pédologie appliquée des S.S.C., qui m'a beaucoup encouragé et aidé dans mon travail. Il n'a pu être de mon jury par suite de ses déplacements.

Je remercie très vivement toutes les personnes du laboratoire de pédologie, de spectrographie et de géologie, ainsi que leurs collaborateurs, en particulier Monsieur PINTA, Chef du laboratoire de Spectrographie des S.S.C., M. PELLOUX, M. BELLIER, Mlle FUSIL, M. KOUKOUÏ, M. RAMBAUD et Mme DELAUNE.

Monsieur C.R. HIERNAUX, Monsieur QUINET et leurs collaborateurs du Service des publications, ainsi que M. PETAIN, Chef des Services Généraux des S.S.C., ont eu la grande gentillesse de contribuer administrativement et techniquement à la réalisation de ce travail. Je leur en suis très reconnaissant.

J'adresse mes remerciements à Madame MASCRET qui a fait preuve d'une extrême gentillesse, ainsi qu'au Service Dactylographie. Elles m'ont beaucoup aidé pour la publication de mon mémoire.

J'adresse enfin mes remerciements à mes professeurs et mes amis Egyptiens, en particulier à M. FAHMI, ainsi qu'à mon très cher ami EZAT, avec qui j'ai eu des discussions très instructives et fructueuses dans une ambiance fraternelle et amicale.

Je ne saurais oublier que c'est grâce à la compréhension de M. le Directeur Général de l'ORSTOM, Professeur Guy CAMUS et aux directeurs successifs des Services Scientifiques Centraux de Bondy, M. MOUCHET puis M. LAMOUREUX, que j'ai pu effectuer ce travail. Je leur en exprime ma respectueuse gratitude.

## INTRODUCTION

L'économie d'Égypte dépend en particulier de l'agriculture. Elle est limitée par une superficie insuffisante pour produire les aliments nécessaires pour une population qui s'accroît à un rythme extrême : elle s'est augmentée de plus de 300 % au cours des 60 dernières années. La superficie cultivée n'a pas même augmenté de 20 % pendant le même temps. Par ailleurs, la productivité agricole ne présente que 40 % d'augmentation. (HASEN et MARZOUK (1962). Fig. A.

Il paraît indispensable pour sauver l'économie de notre pays d'augmenter la superficie agricole actuelle par l'amélioration des sols salins du Nord du delta et par la conservation des sols déjà cultivés.

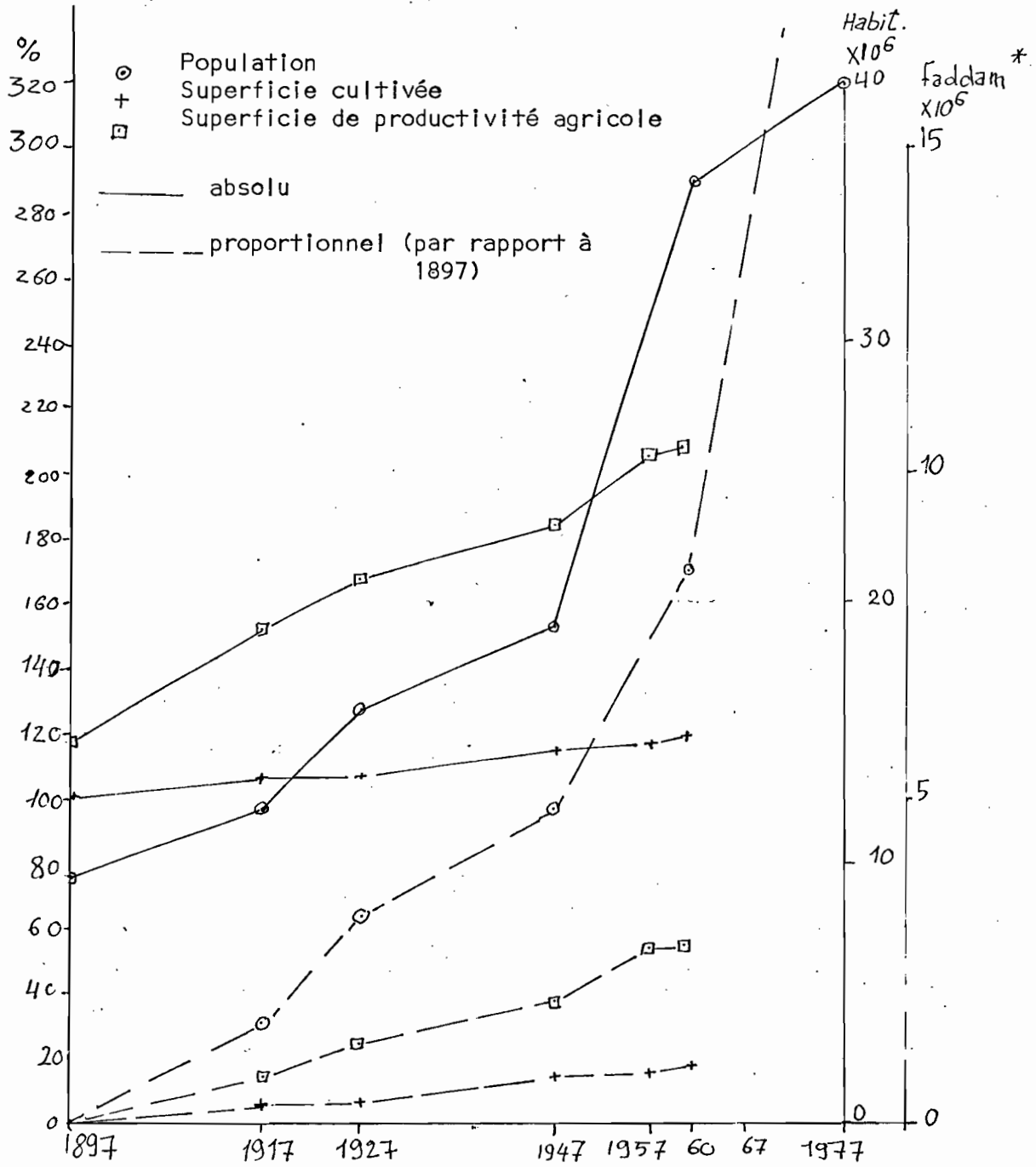
Nous présentons ici une étude pédologique couvrant la plus grande partie du delta du Nil par 4 transects. Les profils choisis sur ces transects ne correspondent pas spécialement à des cas particuliers, mais représentent, autant que possible l'ensemble des sols des zones où ils se trouvent.

Le plan de l'étude et la démarche suivie comportent trois parties :

- la première est consacrée à la présentation du milieu naturel, à la caractérisation de l'héritage sédimentaire et à l'étude de la modification du régime des eaux lors de la formation et de l'évolution du delta du Nil;
- la deuxième est consacrée à l'exposé des faits pédologiques et sédimentologiques. Les étapes de la formation des sédiments et de la genèse des divers types de sols sont décrites.
- Enfin, dans la troisième partie, des interprétations générales sont proposées.

Quoique apparemment oublié dans cette présentation, l'objectif agronomique est toujours resté au premier plan de mes préoccupations dans l'étude de cette région deltaïque si sensible aux phases périodiques d'engorgement par l'eau et de salinisation. Le delta du Nil pourrait être, grâce à ses sols, le lieu d'une production agricole intense et permanente. Mais ceci suppose que l'on maîtrise le problème de la salure. Je souhaite que cette étude aide les responsables de la mise en valeur de cette région dans ce domaine.

Fig. A. Développement de la population durant 60 ans par rapport à la culture.



d'après HASEN et MARZOUK (1962)

\* 1 hectare = 2,4 Faddans.

PREMIERE PARTIE

---

LE MILIEU NATUREL - (Physiographie)

## I - PHYSIOGRAPHIE

### I.1.- Localisation. Position géographique.

Le Bassin du Nil est situé au Nord-Est du continent Africain. Il couvre 2,9 millions de km<sup>2</sup>, soit 1/10 de la surface de ce continent. Par sa longueur le Nil est la deuxième rivière du monde. Il mesure 6.500 km, depuis sa source en Afrique centrale jusqu'à la mer Méditerranée.

La surface de l'Egypte est d'environ 1 million de km<sup>2</sup>. La partie cultivable représente à peu près 1/30 de la surface totale du pays.

Le delta "Fille du Nil" [comme LOZACH (1935) l'a appelé] couvre aux alentours de 23.900 km<sup>2</sup> avec ses lacs ; jusqu'à 1965 la moitié en était cultivée.

La largeur du delta, le long de la côte de la Méditerranée est d'environ 250 km d'Alexandrie jusqu'à Port-Saïd. La longueur, du Caire jusqu'au lac Borollos est de 175 km.

A 20 km au Nord du Caire le Nil se divise en deux branches. A l'Ouest se trouve la branche Rosetta qui a 239 km de longueur jusqu'à la mer (à Rosetta). A l'Est, la branche Damietta a 6 km de moins.

Cette région est située entre les latitudes 30° et 31,50° Nord, et les longitudes 30° et 32° Est (Fig. 1).

### I.2.- Géologie - Géomorphologie.

Les formations géologiques du Delta ont été décrites par ATTIA (1954).

Pendant toute la période Tertiaire la zone du delta est occupée par un golfe marin où se superposent les dépôts éocènes, puis oligocène : sables et graviers, et miocène : grès avec intercalations de bancs calcaires et d'argile.

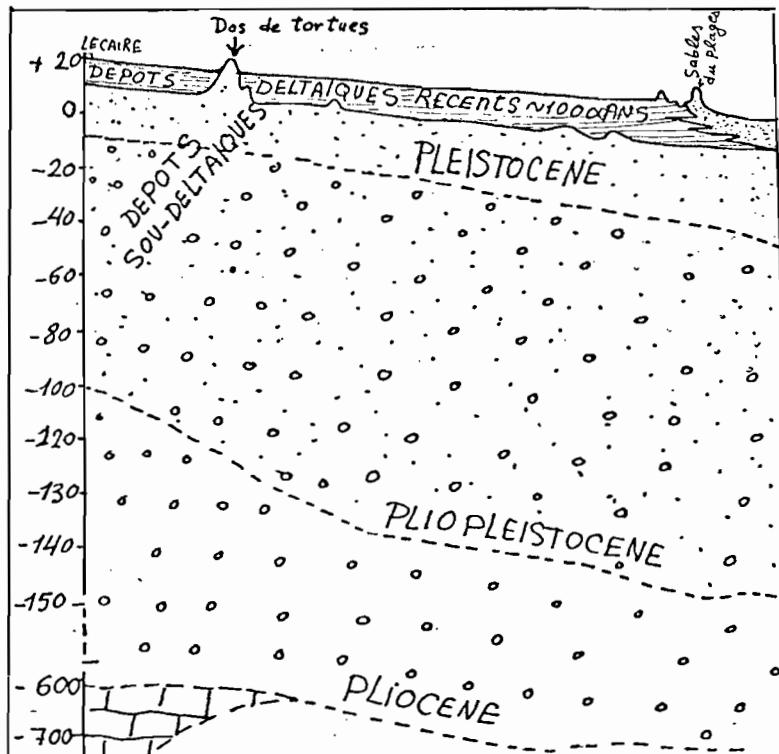
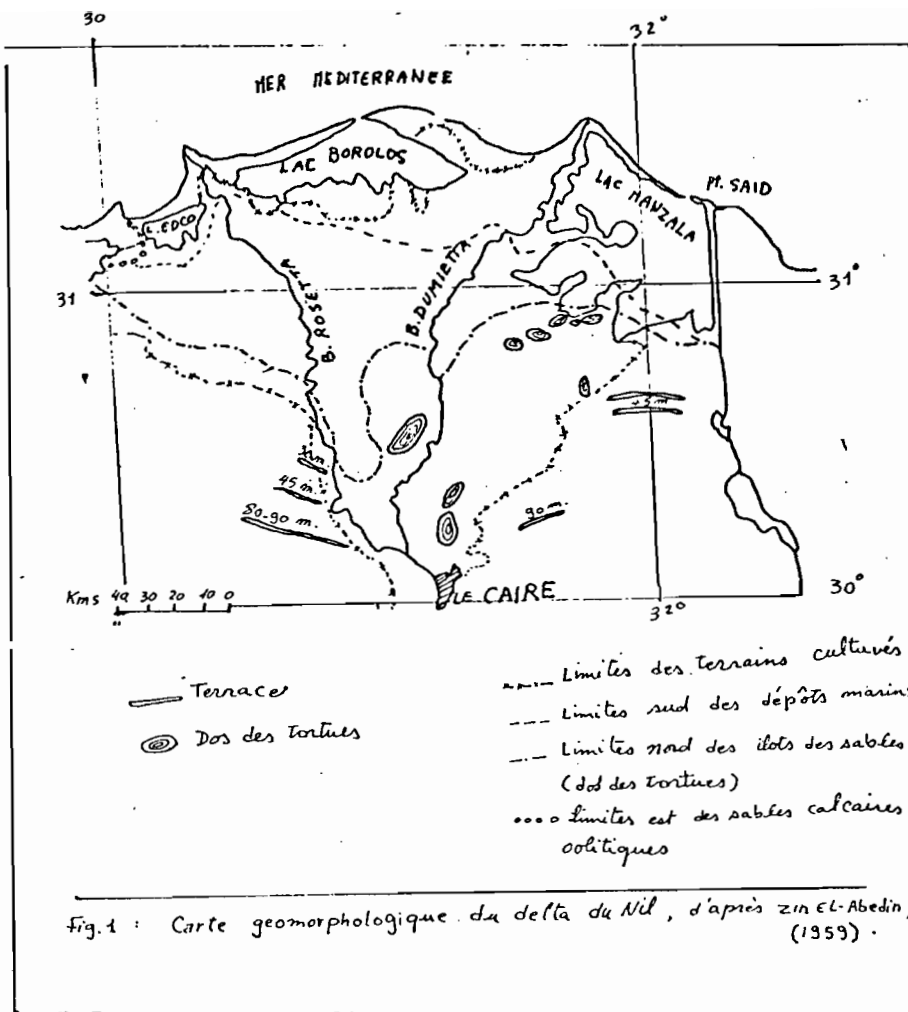
Dans ce golfe se jetait déjà une rivière qui recevait ses eaux surtout par des affluents venant de l'Est apportant des éléments arrachés aux roches éruptives des reliefs séparant la vallée du Nil de la mer rouge,

surtout à la période pluviale du Pontien. Au Pliocène cette rivière est envahie par la mer qui dépose des sables dans ce golfe qui s'étend jusqu'à Assouan. Au Quaternaire la mer se retire même, pendant les périodes glaciaires, plus au Nord que sa position actuelle. Cette limite est actuellement à - 33 m. Les dépôts de la fin du Pliocène sont surtout constitués de couches de graviers et de sables d'origine dunaire.

LYONS qui les a décrits (1906) a noté que les éléments graveleux et sableux fins (dont d'épaisses couches de sables quartzeux jaunâtres) ont été déposés par le Nil. Par dessus et le long de la côte les vents du Nord ont amoncelé des sables dunaire, derrière lesquels se sont accumulés des sables alluviaux, des graviers et des masses lenticulaires d'argile. Cette formation très complexe, a été déposée pendant la période où la mer a recouvert la vallée avant que le Nil récent ne se forme, (Fig. 2). Elle représente l'histoire de la vallée durant 30 millions d'années.

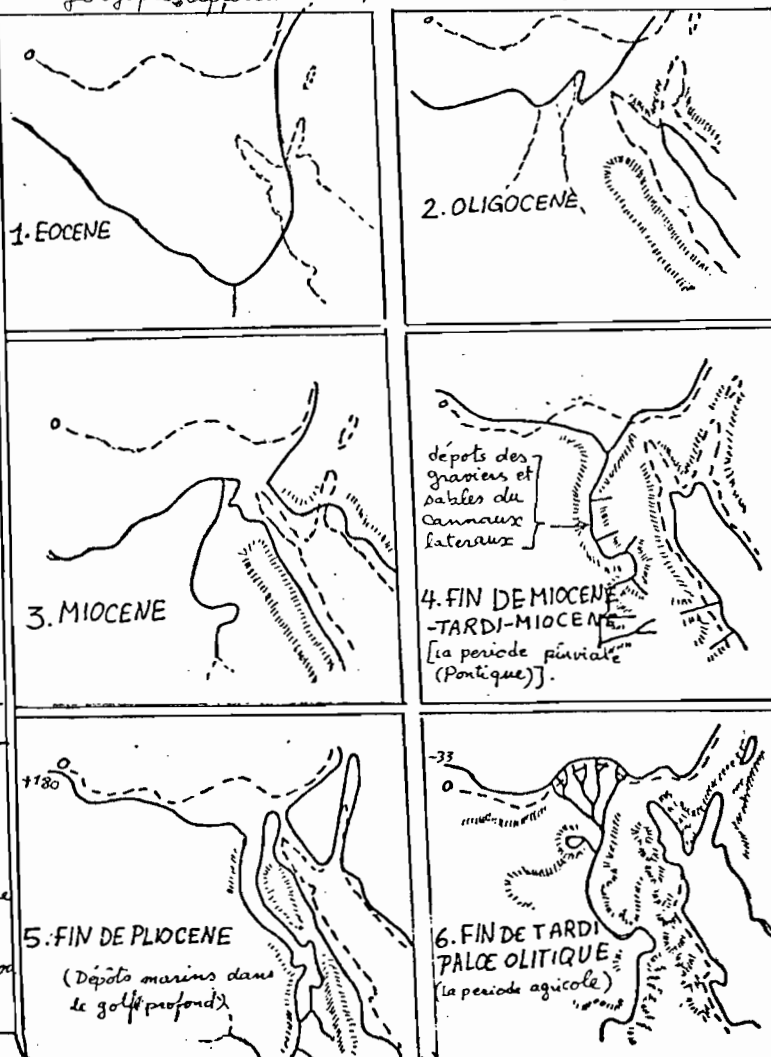
FORTAN (1915), ainsi que SANDFORD et ARKELL (1939) résument comme suit la stratigraphie des dépôts deltaïques, (Fig. 3) :

1. Un premier chenal fossilisé par des sables et des graviers de roches ignées ou métamorphiques, correspond à la fin du Pliocène jusqu'au Pliopliéistocène. L'épaisseur de cette formation n'est pas connue jusqu'à présent.
2. Des dépôts de sables à hornblende et de limons de même origine que précédemment représentent le Pliopliéistocène et une partie du Pléistocène.
3. Un deuxième cours fossile est rempli de dépôts plus fins, sables et limons riches en mica et en hornblende. On peut considérer ces dépôts avec la couche n° 2, comme "dépôts sous deltaïques" (BALL 1939). Ils sont associés à la période d'érosion et d'approfondissement, depuis la fin du Pléistocène ancien jusqu'à la fin du Pléistocène.
4. La couche supérieure des dépôts deltaïques, récents, parfois dénommée "terre végétale" a recouvert tous les dépôts sous-deltaïques anciens sauf quelques îlots de sables connus sous le nom de "dos de tortues". L'épaisseur de ces dépôts, argileux en général, varie dans les différentes localités (Fig. 4 avec une moyenne de 9,8 mètres. Ils ont été formés par l'apport annuel d'approximativement 0,9 mm d'alluvions



- Argiles, argile sableuse, limon et sable (gris foncé), biotite, magnétite et du calcaire par fois.
- Dépôts plus fins, du 2<sup>e</sup> canal enterré.
- Sables à hornblende et limons de même régime que les éléments sous-jacents.
- Gravières et sables provenant de roches ignées ou métamorphiques.

Fig. 2 Le développement du delta du Nil dans les cycles géologiques différents, d'après BALL (1939).



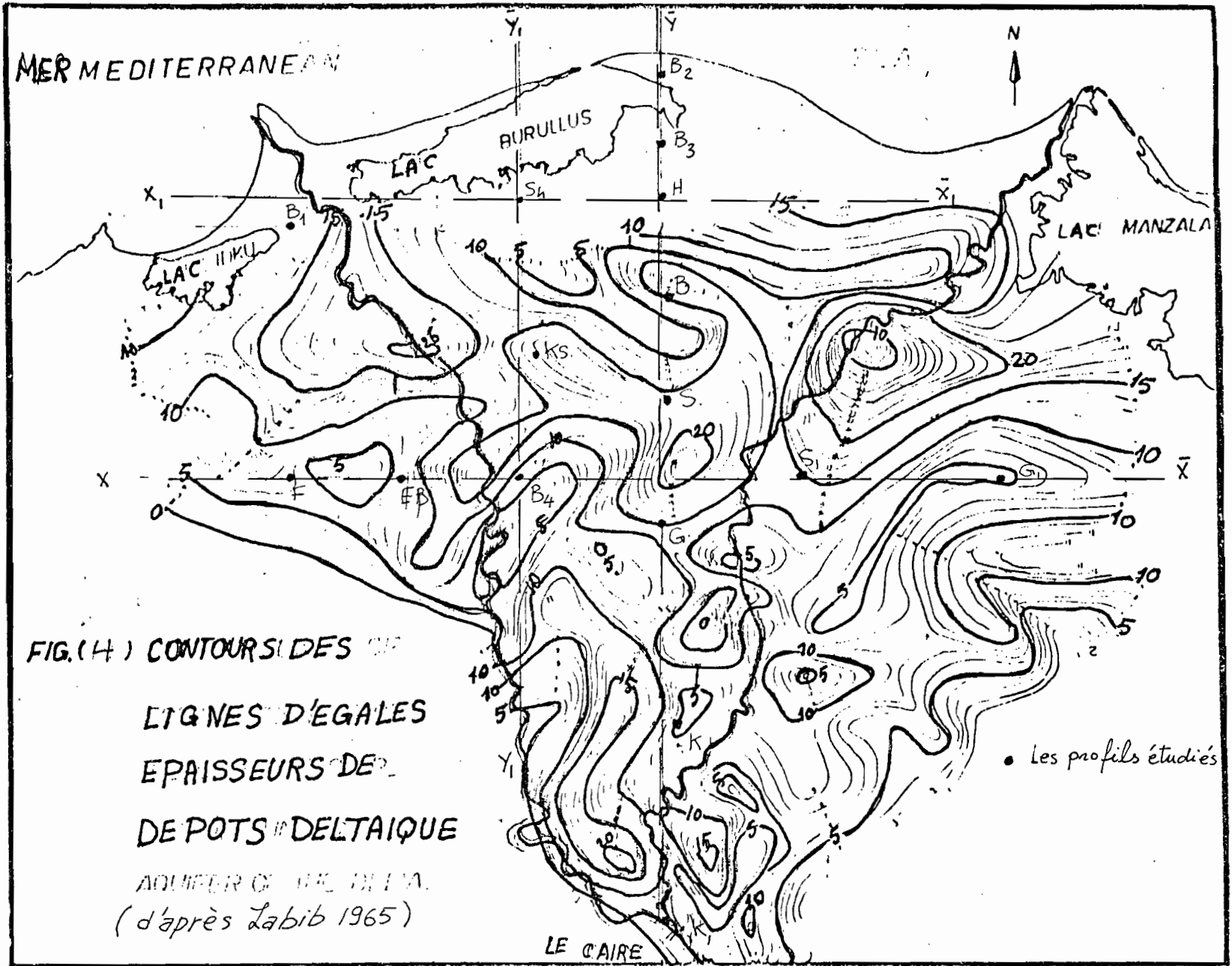


FIG. (4) CONTOURS DES  
 LIGNES D'EGALES  
 EPAISSEURS DE  
 L'AQUIFER DE LA DELTA.  
 (d'après Labib 1965)

• Les profils étudiés

LE CAIRE

soit 8 tonnes/Faddan<sup>+</sup>/an ou 19,2 tonnes/hectare. Depuis la mise en place du système d'irrigation permanente il ne se dépose plus que 0,5-1,5 tonnes par Faddan/an soit 1,2-2,1 tonnes/hectare.

La quantité de matière en suspension a été mesurée au Caire entre 1925 et 1927. Elle se répartit comme suit au cours de l'année : Janvier = 0,36 ; Février = 0,11 ; Mars = 0,07 ; Avril = 0,05 ; Mai = 0,04 ; Juillet = 0,12 ; Août = 12,1 ; Septembre = 25,40 ; Octobre = 13,40 ; Novembre = 4,22 ; Décembre = 0,90 tonnes.

BALL (1939) a prouvé que l'épaisseur moyenne de 9 mètres des dépôts récents correspondait à la période Néolithique (8.000 ans B.P.). ATTIA (1954) a estimé par contre que cette couche à une épaisseur moyenne de 12 m.

EL-FAYOUMY (1968) a étudié la stratigraphie de ces dépôts sur deux coupes géologiques AA et BB à l'Est du delta. Il a été jusqu'à - 50 mètres de profondeur pénétrant ainsi dans les dépôts sous deltaïques (Fig. 5a et 5b).

Les experts de la F.A.O. dans leur "Soil survey" (1964) ont étudié la stratigraphie de ces formations récentes suivant un transect AB au Nord du delta (Fig. 6, 6a et 6b) jusqu'à - 2 mètres de profondeur, mais les âges des couches décrites ne sont pas tous connus ; aussi garderons nous la succession proposée précédemment par BALL (1939) :

#### 1. La période récente (10.000 ans) :

- a. Prédynastique - de 4.500 à 3.400 ans B.P. et Historique depuis 3.400 ans B.P. : dépôts deltaïques continentaux, distribués localement au Nord du delta, sur 0,5 à 2 mètres d'épaisseur, elle se termine par une avancée marine et la formation des lacs.
- b. Néolithique - de 8.000 à 4.500 ans B.P., dépôts présentant des outils en roche taillée.
- c. Transition entre le Paléolithique Supérieur et le Néolithique - de 10.000 à 8.000 ans B.P., dépôts sableux mélangés avec du limon fin et de l'argile.

---

<sup>+</sup> 1 Faddan = 4200 m<sup>2</sup>.

d. Paléolithique Supérieur - Terminé à environ 10.000 ans B.P. ; c'est la période de la culture Sébillienne dans la vallée du Nil et la dépression du Fayôm, le niveau de la mer variant de - 43 à - 33 mètres ; creusement du Nil et formation de terrasses, dépôts de graviers et sables sous-deltaïques.

## 2. Période du Pleistocène (avant 20.000 ans B.P.) :

a. Paléolithique moyen - terminé à 20.000 ans B.P. ; culture Moustérienne dans la vallée du Nil et le Fayôm, le niveau de la mer variant de - 12 à - 17 m ; érosion du Nil et formation des terrasses dépôts du graviers et de sable (sous-deltaïques).

b. Paléolithique Inférieur - terminé à 50.000 ans B.P., culture Chelléenne et Acheuléenne dans la vallée du Nil.

c. Pléistocène Inférieur - sans trace de culture ni d'activité humaine, période pré-hominine en Egypte.

SESTINI (1974) a confirmé que l'évolution du delta pendant la période historique a causé la remontée du niveau de l'embouchure du Nil, et la détérioration de la côte due à la formation des marais et des lacs. Tout le Nord du delta est devenu un ensemble de marécages entre le sixième et le dixième siècles. En même temps se sont étendues les zones de terrains salés.

### I.3.- Topographie.

La carte topographique (Fig. 7) du delta fait ressortir quelques caractères physlographiques qui peuvent être résumés comme suit :

1. Dans la partie Est les contours indiquent des pentes passant vers le Nord-Est puis l'Est dans la partie centrale les pentes se dirigent vers le Nord tandis que dans la partie occidentale, elles sont orientées vers le Nord-Ouest. Cela indique que l'accroissement des dépôts deltaïques a été plus rapide dans la partie centrale que sur les deux côtés.
2. La dénivellation d'ensemble entre le Caïre et la mer Méditerranée est d'environ 17 mètres sur une distance de 170 km. Ce versant n'est pas régulier et il peut être subdivisé en deux parties. Dans la partie Nord en-dessous du niveau de + 3 mètres correspond à une pente plus faible, (environ 1 : 30.000) qui diminue encore près des lacs et des

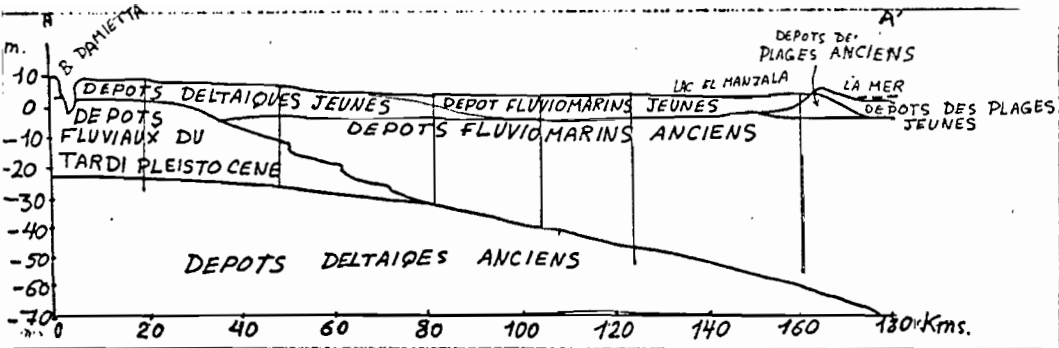


Fig. 5 a : Coupe géologique montrant le changement latéral des dépôts récents et anciens du Pleistocène. d'après El-Fayoumy (1968).

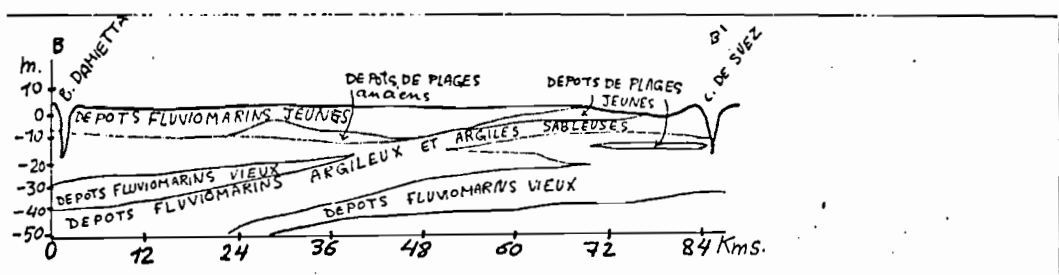
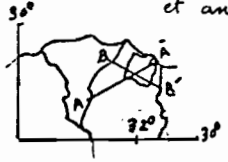


Fig. 5 b : Coupe géologique entre branche Domietta et canal de Suez d'après El-Fayoumy (1968).

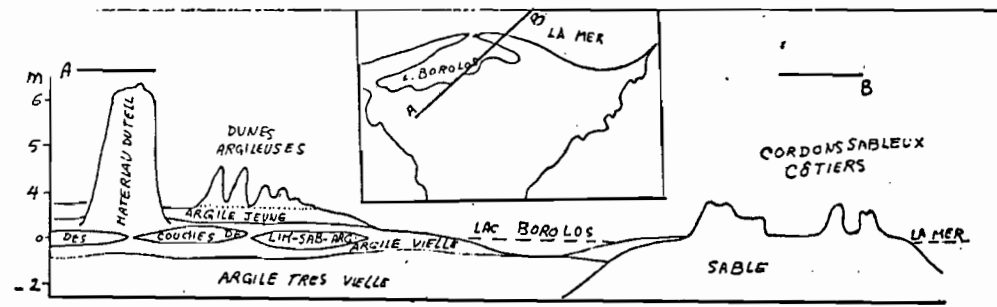


Fig. 6 : Coupe schématique au nord du delta, d'après (FAO 1964)

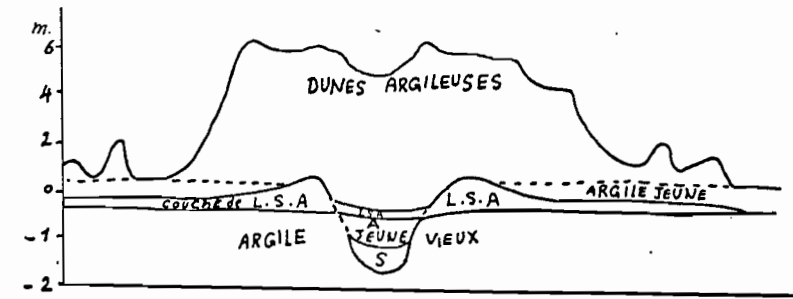


Fig. 6a : Coupe schématique de dunes argileuses sur un ancien axe hydrographique d'après (FAO 1964)

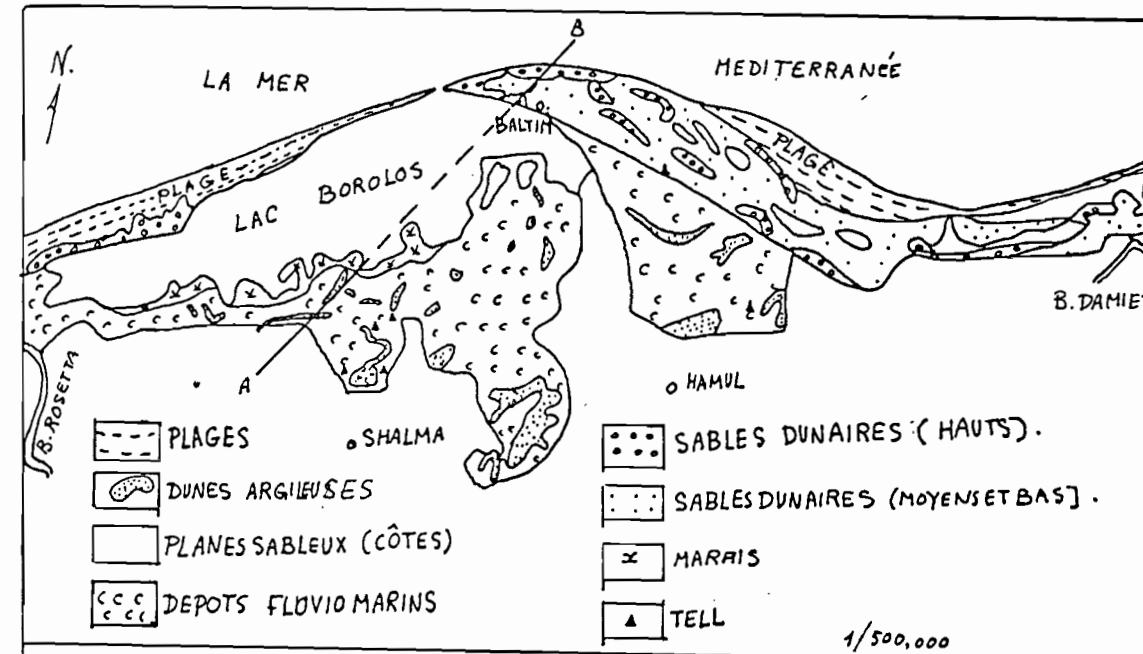
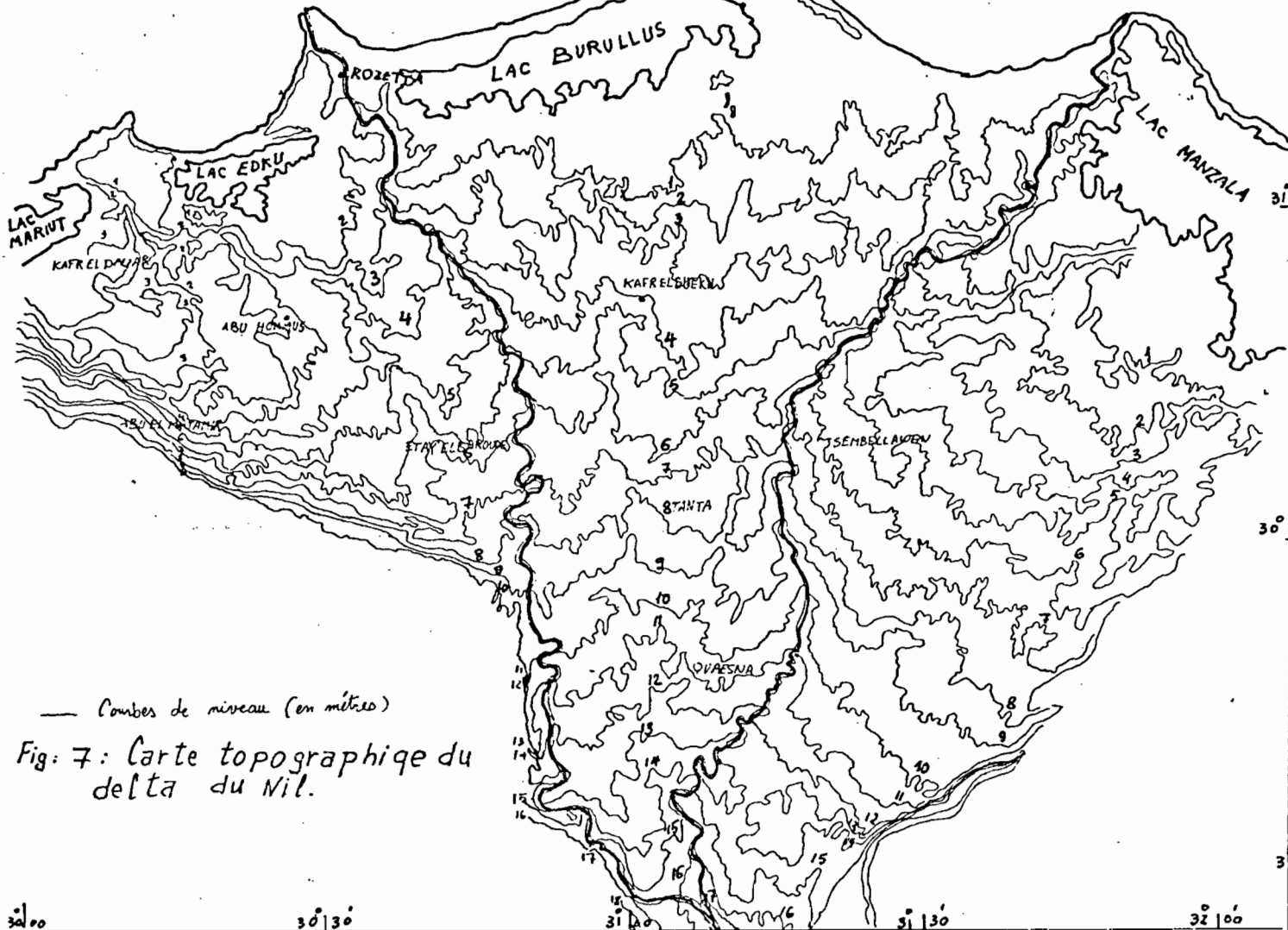


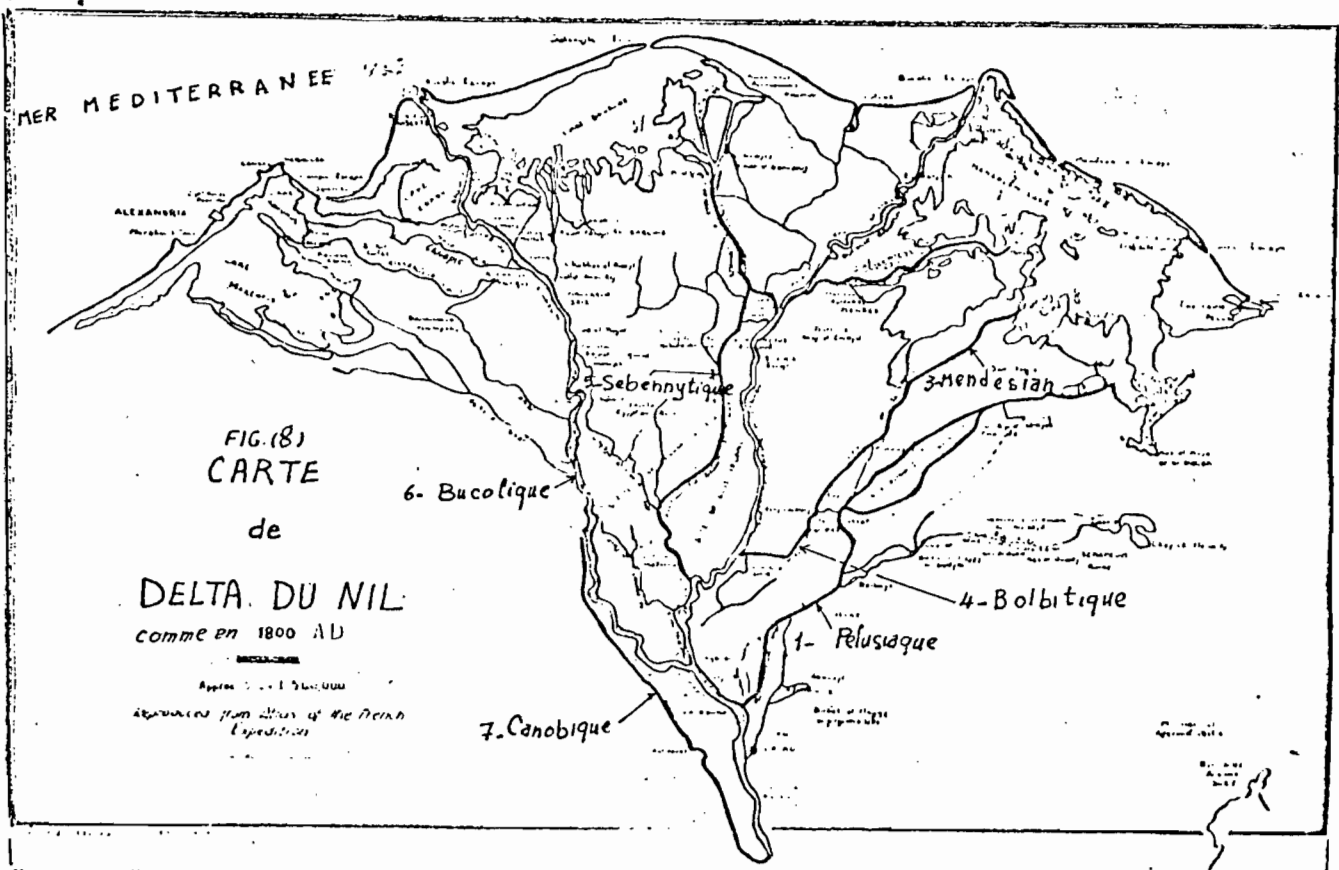
Fig. 6b : Carte Physiographique du Nord du delta ; (FAO 1964)

1/500,000



— Contour de niveau (en mètres)

Fig. 7: Carte topographique du delta du Nil.



marais qui les bordent au Sud. Cette différence de pente entre les deux parties du delta est probablement due au triage des sédiments au moment de leur précipitation dans le golfe marin. Ce phénomène a joué dès le début de la formation du delta. La fraction grossière était déposée dès la pointe de celui-ci pendant que la fraction fine s'étendait plus loin au Nord vers sa base. La surface du delta au Sud de la courbe de niveau + 3 mètres est en général relativement plus plane que plus au Nord, du fait de la présence d'anciennes branches du fleuve dans cette seconde partie. Dans cette région septentrionale, les terrains, ont été laissés longtemps sans contrôle et sans culture, les aplanissements artificiels n'ont pas été réalisés comme plus au Sud, ce qui explique, au moins partiellement, sa surface si irrégulière dans le détail, l'extension des marécages et les grandes superficies de sols salés. En effet ces anciennes branches du fleuve étalent bordées de bourrelets de berges plus ou moins surélevés entre lesquels de véritables bassins se sont constitués parfois remplis, lors des crues, par l'eau du fleuve, qui, ensuite se concentrait en s'évaporant. En même temps ils se remplissaient des sédiments ainsi apportés. Cette topographie ondulée a commencé à s'aplanir dès le début de ce siècle à cause de la migration et de la poussée de la population vers le Nord. Ce qui en reste jusqu'à présent, constitue un obstacle qui ralentit le développement de l'agriculture dans cette région.

SESTINI (1974) a présenté les noms de sept branches anciennes (d'après HERODOTE), et leurs équivalences modernes d'après TOUSSON) (Fig. 8) :

1. Pelusique = quelques parties du Sharqia, Abo-Elakhder et Fagous.
2. Saitique = Bahr Moroace.
3. Mendesian = El-Bahr El-Sagher.
4. Canal Bolbitique = Branche Damietta.
5. Sebennytique = Bahr Terra.
6. Canal Bucolique = Branche Rosetta.
7. Branche Canopique = Sa fin était le lac Edco.

Les anciennes branches à l'Ouest de la branche Rosetta ont disparu à cause des sables entraînés par les vents de l'Ouest à partir des dépôts non consolidés de l'Oligocène, du Miocène et du Pliocène qui bordent le delta vers l'Ouest. A l'Est de la branche Damietta, les anciennes branches ont disparu parce qu'elles n'ont pas été entretenues et qu'elles ont été comblées de sédiments divers, et de plantes aquatiques. En effet

La zone orientale a été pratiquement abandonnée par suite des invasions lors de nombreuses guerres.

La présence de nombreux méandres sur la plupart des actuels canaux d'irrigation du delta nous montre qu'il ne s'agit le plus souvent que d'anciennes branches du fleuve simplement nettoyées par dragage.

#### I.4.- Les sédiments du delta du Nil.

Pour pouvoir comprendre la nature des sédiments du delta, il nous paraît nécessaire d'évoquer le climat et la géologie, de la zone des sources du Nil, donc du plateau éthiopien (+ 4000 mètres d'altitude), et du plateau des lacs en Ouganda (+ 1000 à + 2000 mètres d'altitude).

Comme le montre la figure 7 la constitution géologique du bassin du Nil dans la région du plateau éthiopien correspond à une large masse de laves basaltiques (2000 mètres d'épaisseur dans certaines régions), de schistes micacés métamorphiques et de quelques roches sédimentaires, en particulier de bancs calcaires et de grès nubliens. Au Nord de Khartoum s'étendent sur une grande superficie, des grès de Nubie (brun rougeâtre) avec quelques anciennes roches cristallines épaisses d'origine Archéenne, granite et schistes cristallins. L'extension de ces roches représente celle du "complexe de base" que le grès de Nubie est venu recouvrir. Ces roches résistent mieux à l'érosion que les grès (Fig. 9). Cela explique l'existence des sept cataractes dans cette partie de la vallée du Nil.

Le plateau des lacs est à environ 1300-1500 mètres d'altitude en général. Il est surmonté par quelques sommets comme celui du Ruwenzori à + 5120 mètres et celui du volcan Elgon à + 4321 mètres.

La plus grande partie de cette région est occupée par du granite et par place, par des schistes. Le granite est recouvert par des formations latéritiques ferrugineuses produites par l'altération des roches cristallines sous climat tropical. La pluviométrie (Fig. 9a) sur le plateau des lacs est à son maximum (200 mm par mois) en Mars, Avril et Mai, ainsi qu'en Octobre et Novembre. Sur le plateau éthiopien tombent 300 mm/mois de pluie en Juillet et Août et 200 mm/mois en Juin et Septembre. Actuellement l'eau qui passe par le lac No au débouché du plateau des lacs et qui coule vers le Nil Blanc est équivalent à 1/1000 du total des chutes de pluie sur le plateau. La disposition topographique, en particulier la faible pente de toute la zone au Nord du plateau des lacs,

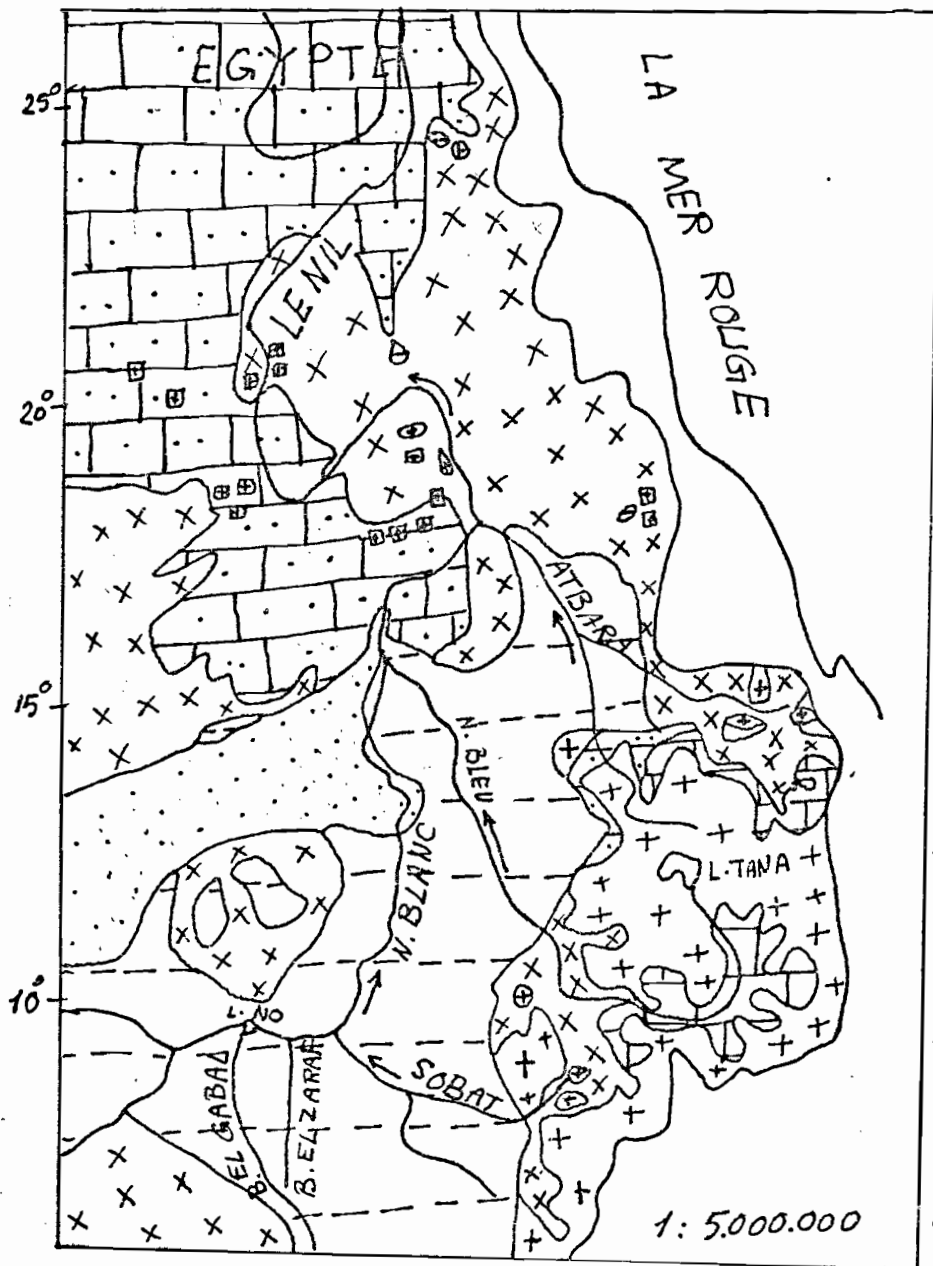


Fig. 9 : Carte Géologique du Bassin du Nil au Sudan et au Plateau Ethiopien

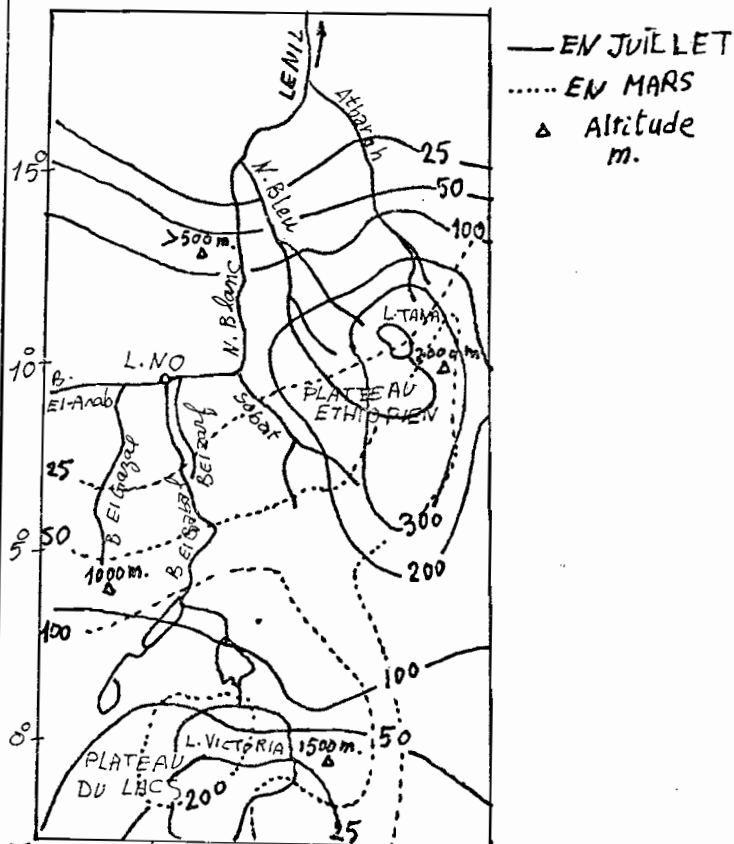
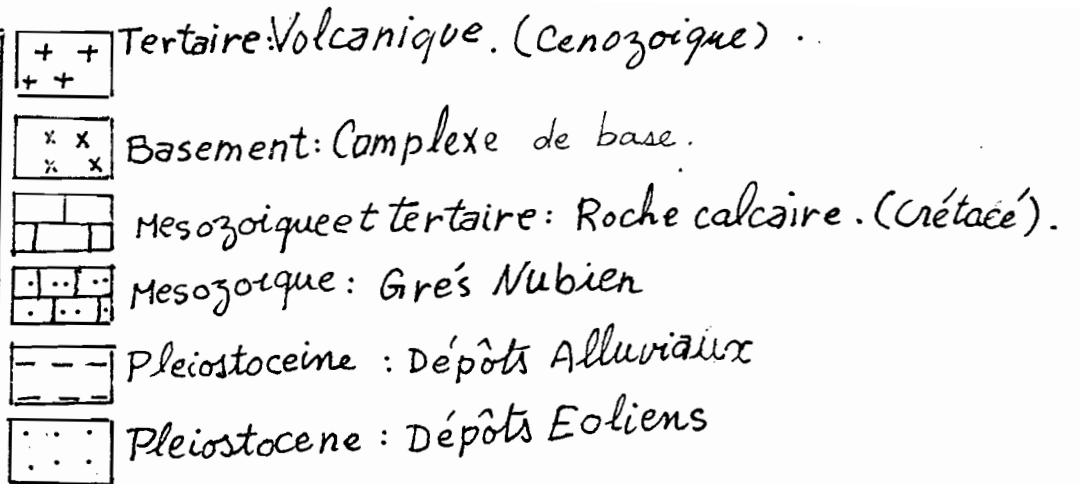


Fig. 9a: Pluviométrie au sources du Nil. (en mm/mois)

ralentit le courant de l'eau dans les rivières Bahr El Gabal qui vient de ce plateau et Bahr El Gazal : situé plus à l'Ouest. Cela a permis l'envasement par des plantes aquatiques et des algues de ces deux rivières qui sont devenues de véritables marais. La charge de ces rivières n'est que de la matière colloïdale organique et minérale. Il est certain que les sables fins quartzeux et les limons riches en oxyde de fer (28 %), qui sont en suspension dans l'eau du Nil Blanc, n'ont pas été apportés par les eaux de ces deux rivières mais par celles de la rivière Sobat qui arrive du plateau éthiopien, surtout de Juin à Septembre.

Le Nil Bleu amène ses sédiments aussi de Juin à Septembre. Sa charge contient principalement des grains de sables (0,5-0,05 mm), où domine le quartz avec 13 % d'oxyde de fer et du limon argileux brun blanchâtre riche en quartz très fin. Le quartz a une forme anguleuse, il est semblable à celui des grès qui bordent le Nil Bleu dans la région éthiopienne. Entre Octobre et Janvier les masses d'eau écoulées diminuent dans cette zone et les dépôts (quartz plus quelques minéraux lourds), y augmentent mais leur maximum est entre Février et Juin. Ensuite lors des crues suivantes (Juin à Septembre) ils seront repris par les eaux et entraînés plus loin vers le Nord.

Les sédiments éthiopiens qui sont précipités dans les plaines ne sont pas homogènes (génétiquement). Les dépôts de la partie désertique de la vallée du Nil ont été transportés par le fleuve mais ils sont d'origines, d'âges et de constitutions différentes.

A l'aval du confluent, la charge en suspension du Nil est équivalente à 3 fois celle du Nil Bleu et à 20 fois celle du Nil Blanc, avec une quantité d'oxydes de fer intermédiaire entre celle du Nil Bleu et du Nil Blanc. Cette charge peut provenir pour une part d'une reprise d'un limon ancien déposé dans les plaines et qui ressemble à celui de la plaine alluviale de la région du Kolla en Ethiopie (K.W. BUTZIR). Dans la partie désertique du bassin le limon du fleuve a été ainsi déposé et repris plusieurs fois.

Les dépôts deltaïques récents sont probablement transportés en Juillet et Août (pendant la crue) du plateau éthiopien. Une partie de ces dépôts a été déposée d'une façon directe, et une autre partie d'une façon indirecte. L'argile du delta est caractérisée par la montmorillonite. D'ailleurs, les sols dominants dans la plaine entre le Nil Bleu et le Nil Blanc (Gezira) sont des vertisols montmorillonitiques.

## I.5.- Climat.

Le climat du delta résulte de deux types différents. Le premier est méditerranéen. En hiver, il présente une pluviométrie irrégulière et faible par suite de l'altitude très basse du delta. Le deuxième est de type saharien. En été le climat est chaud et sec sauf dans la zone de la côte.

LYONS (1906) estime que le système d'irrigation permanent pratiqué sur le delta dès avant la fin du siècle précédent en a modifié le climat local. Il est devenu plus frais en été, et plus froid en hiver. La pluviométrie et l'humidité semblent aussi avoir augmenté pour la même raison.

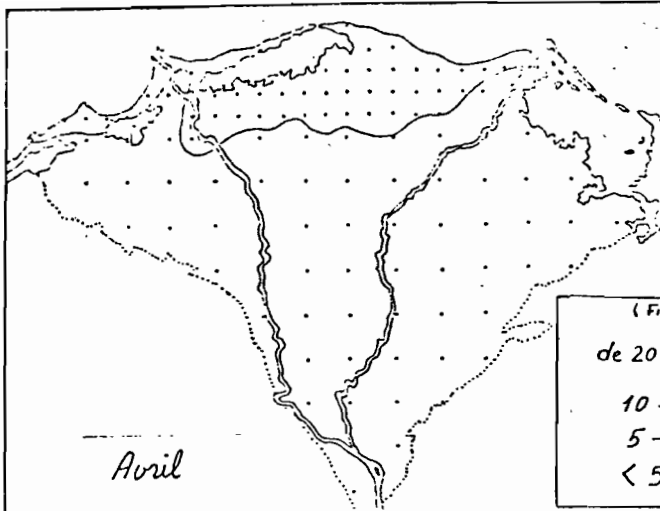
F. ABOU RADJ (1972) a étudié en détail les données climatiques de 17 stations météorologiques dans le delta. Avec son accord nous avons largement utilisé ses résultats et nous présentons, ci-dessous, les photocopies de plusieurs des figures de sa thèse.

### 5.a.- La pluviométrie.

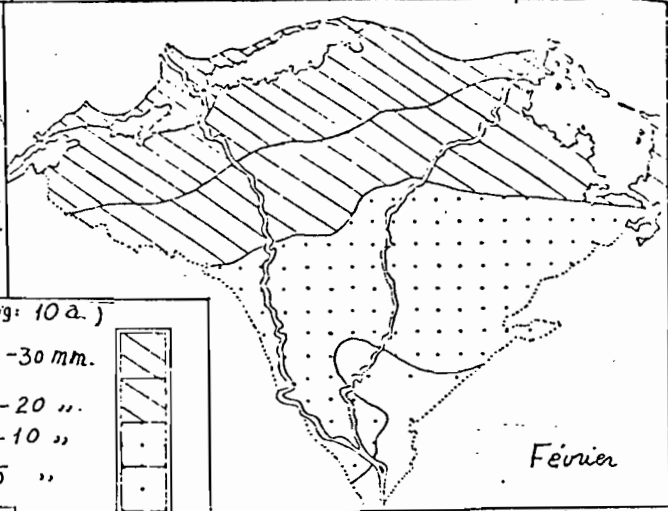
Les précipitations sur le delta sont très insuffisantes sur la plus grande partie de la région. Elles augmentent un peu le long de la côte (Fig. 10 et 10a). Au Nord-Ouest du delta la pluviométrie est un peu moins faible ; par places elle arrive à environ 200 mm/an. Vers le Sud et le Sud-Est, elle diminue très rapidement jusqu'à moins de 50 mm/an. La superficie qui reçoit des précipitations supérieures à 100 mm/an représente 29 % du delta ; entre 75 et 100 mm/an cela ne constitue que 16 %, et au-dessus d'environ 75 mm/an, 55 %. La plus grande partie de la dernière zone est située au Sud et au Sud-Est du delta. Les pluies tombent en quatre mois seulement (Novembre, Décembre, Janvier et Février) avec des maximums mensuels qui varient entre 25 et 50 mm/an.

### 5.b.- La température.

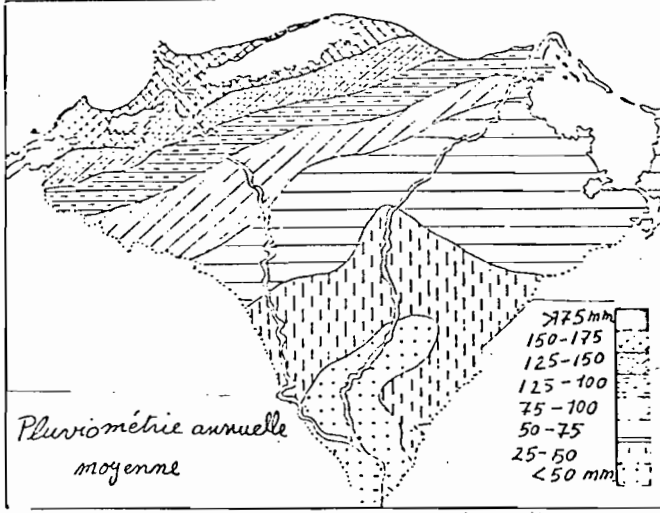
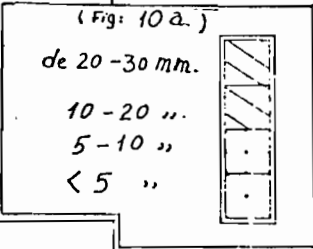
La température de l'air en Egypte arrive fréquemment à 40°C dans la journée en été et s'abaisse jusqu'à 0°C la nuit en hiver. Sur la côte Nord l'effet de la mer et du vent du Nord diminue les variations des températures saisonnières et quotidiennes. C'est ainsi qu'à Alexandrie le temps est plus frais au printemps et en été, et plus chaud en automne.



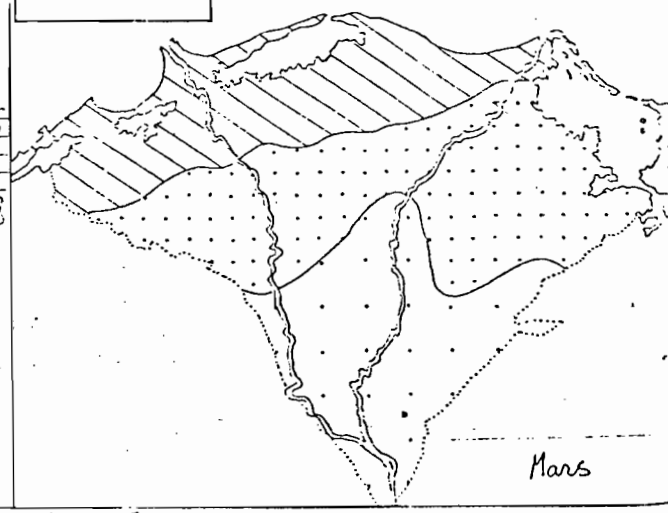
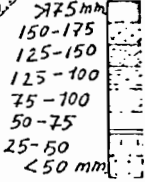
Avril



Février

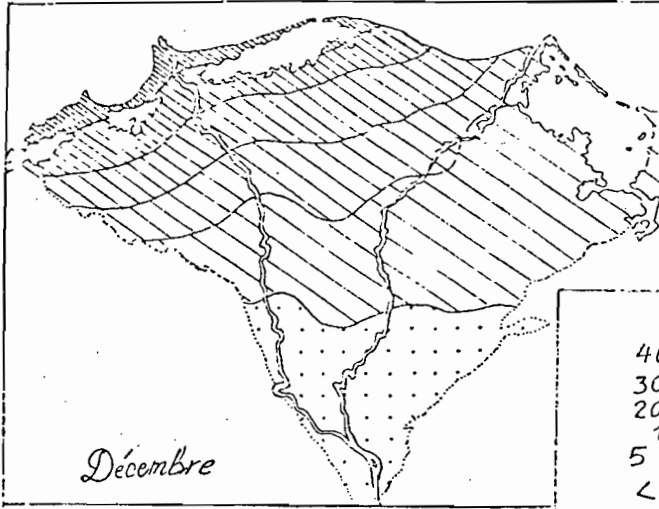


Pluviométrie annuelle  
moyenne

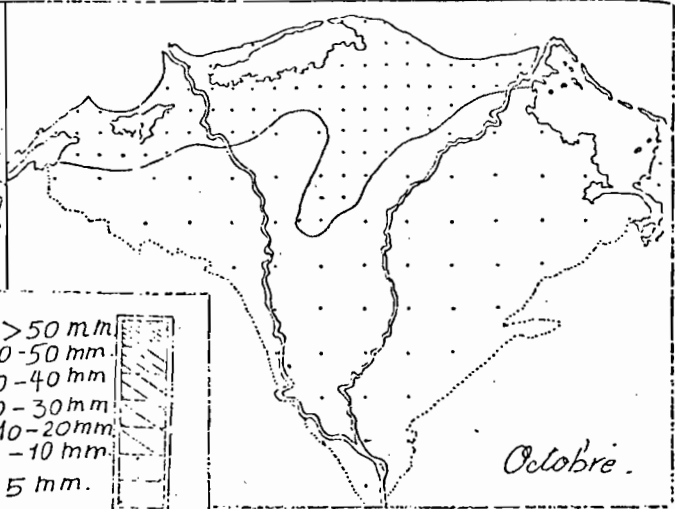


Mars

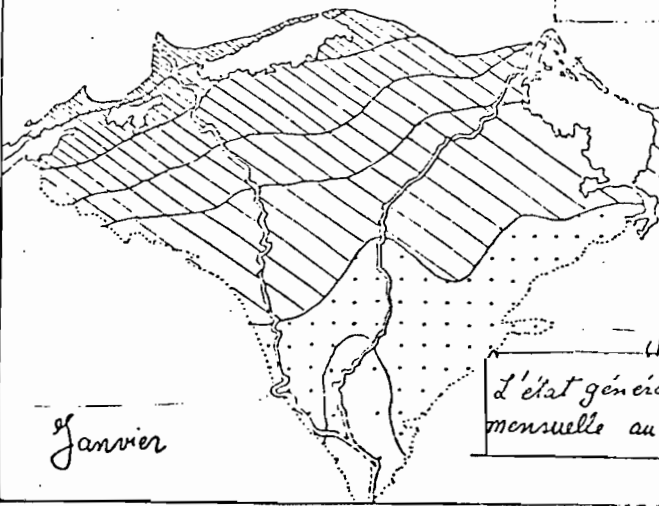
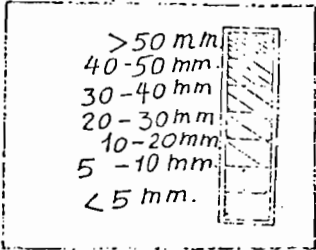
Km. 100 75 50 25 0 25 50



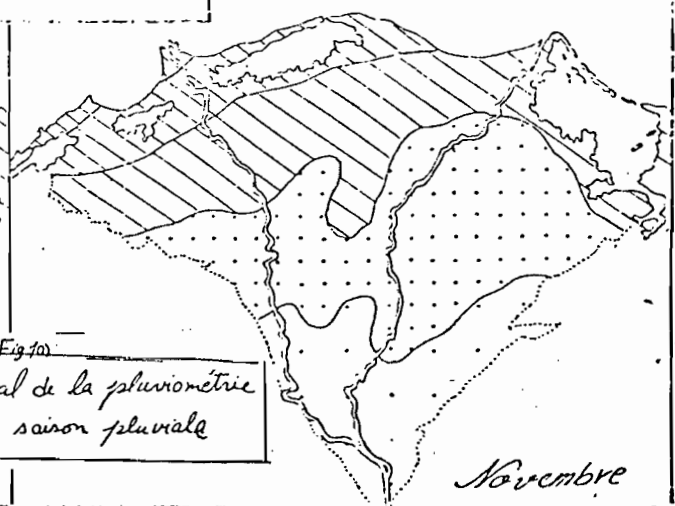
Décembre



Octobre



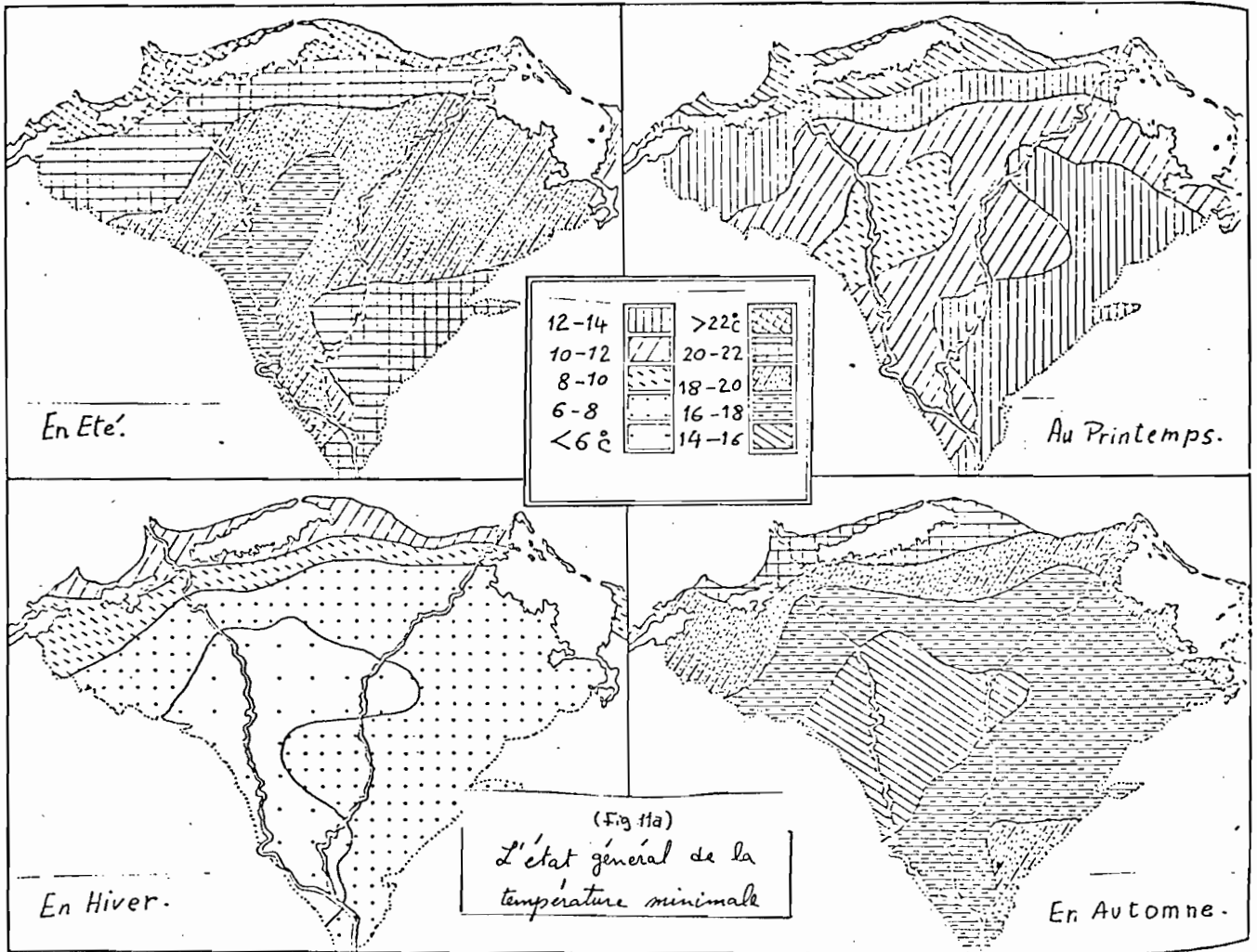
Janvier



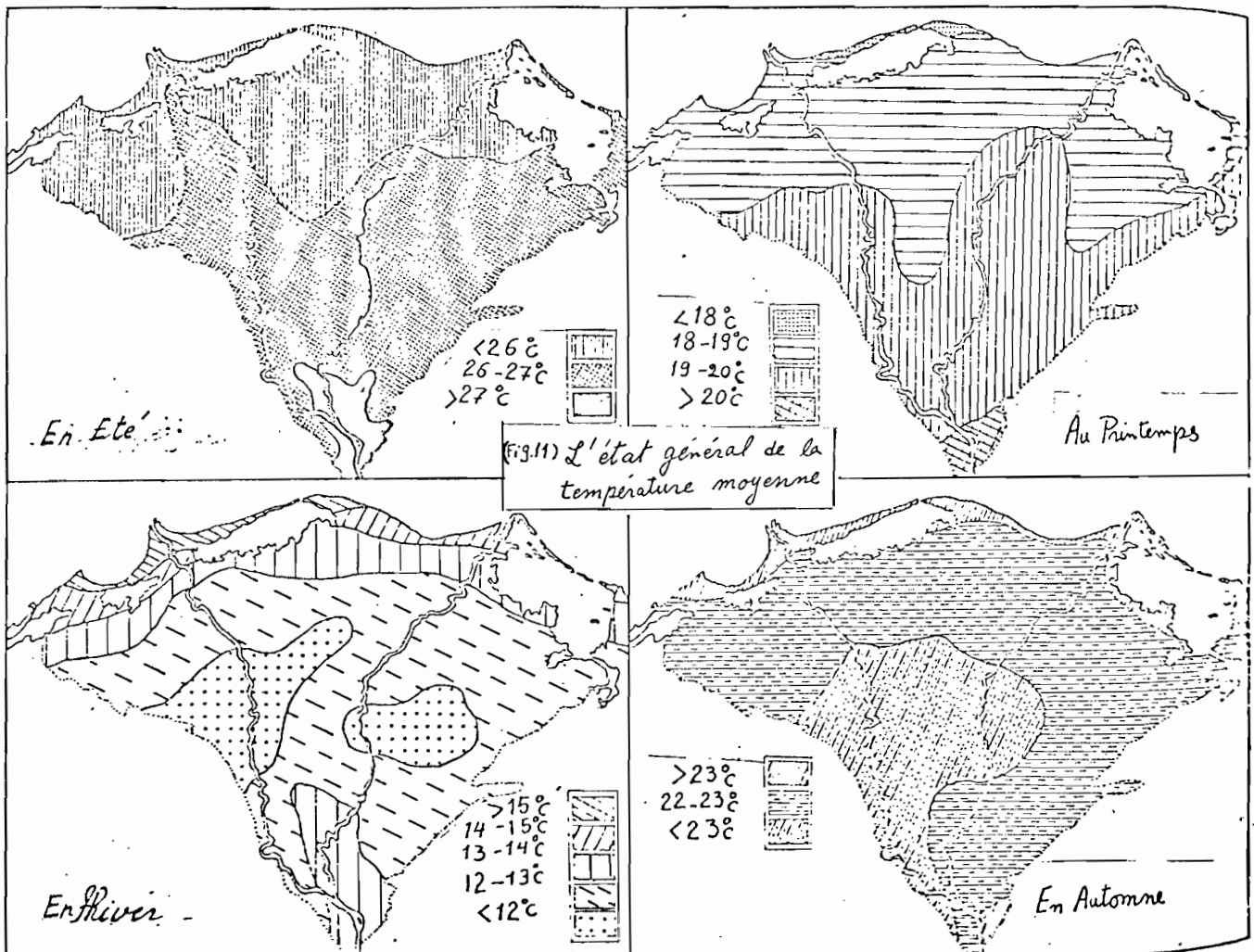
Novembre

(Fig. 10)  
L'état général de la pluviométrie  
mensuelle au saison pluviale

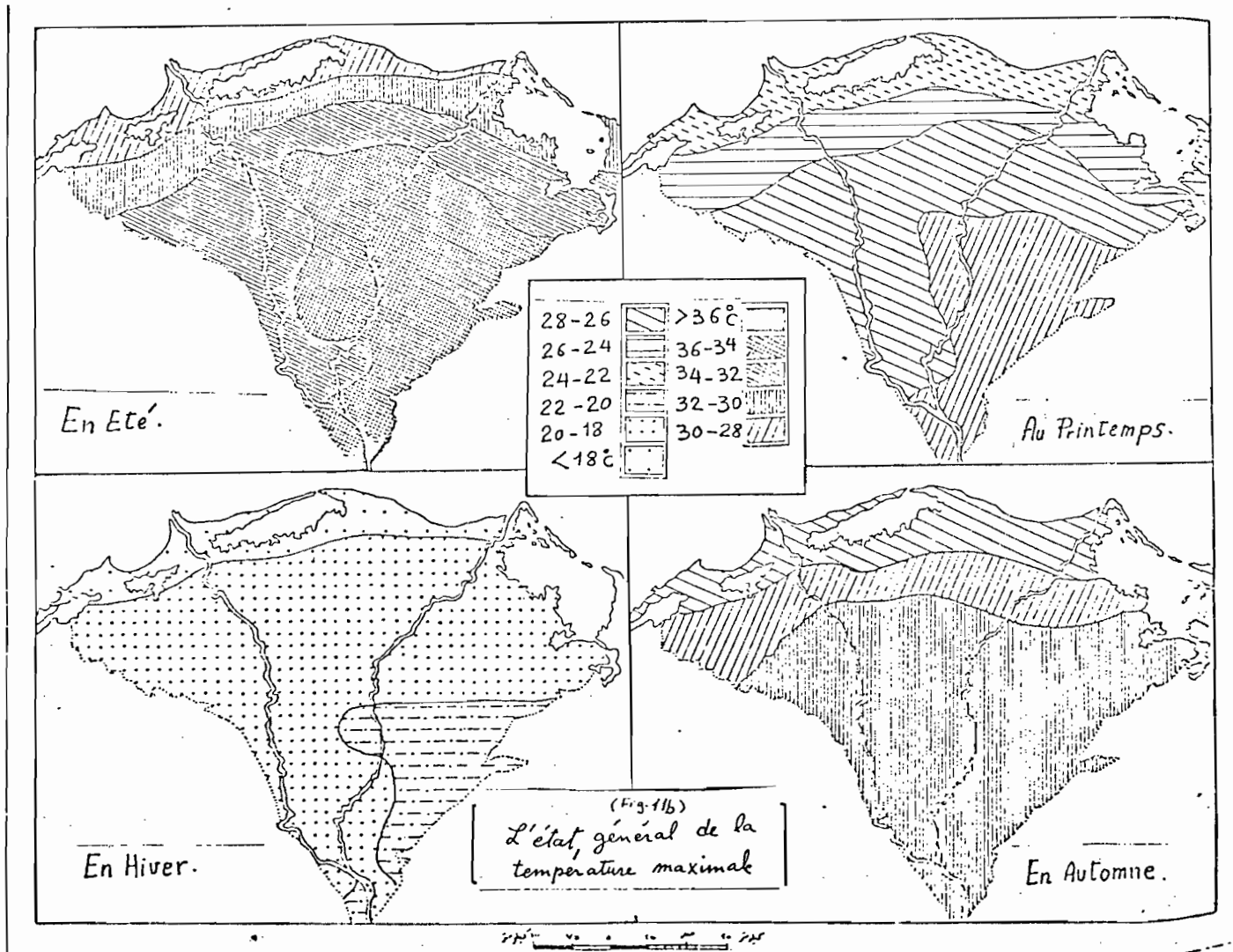
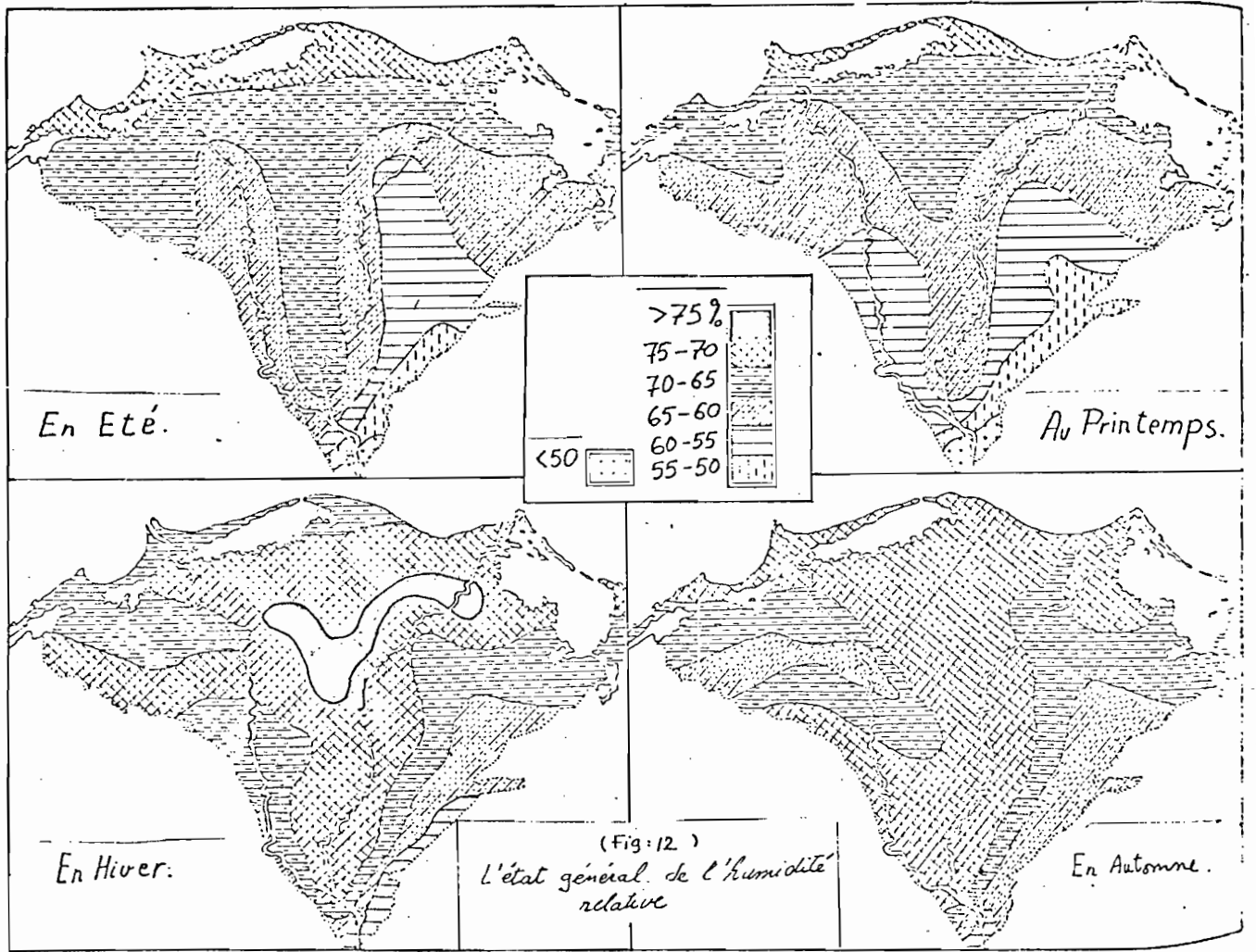
100 75 50 25 0 25 Km.

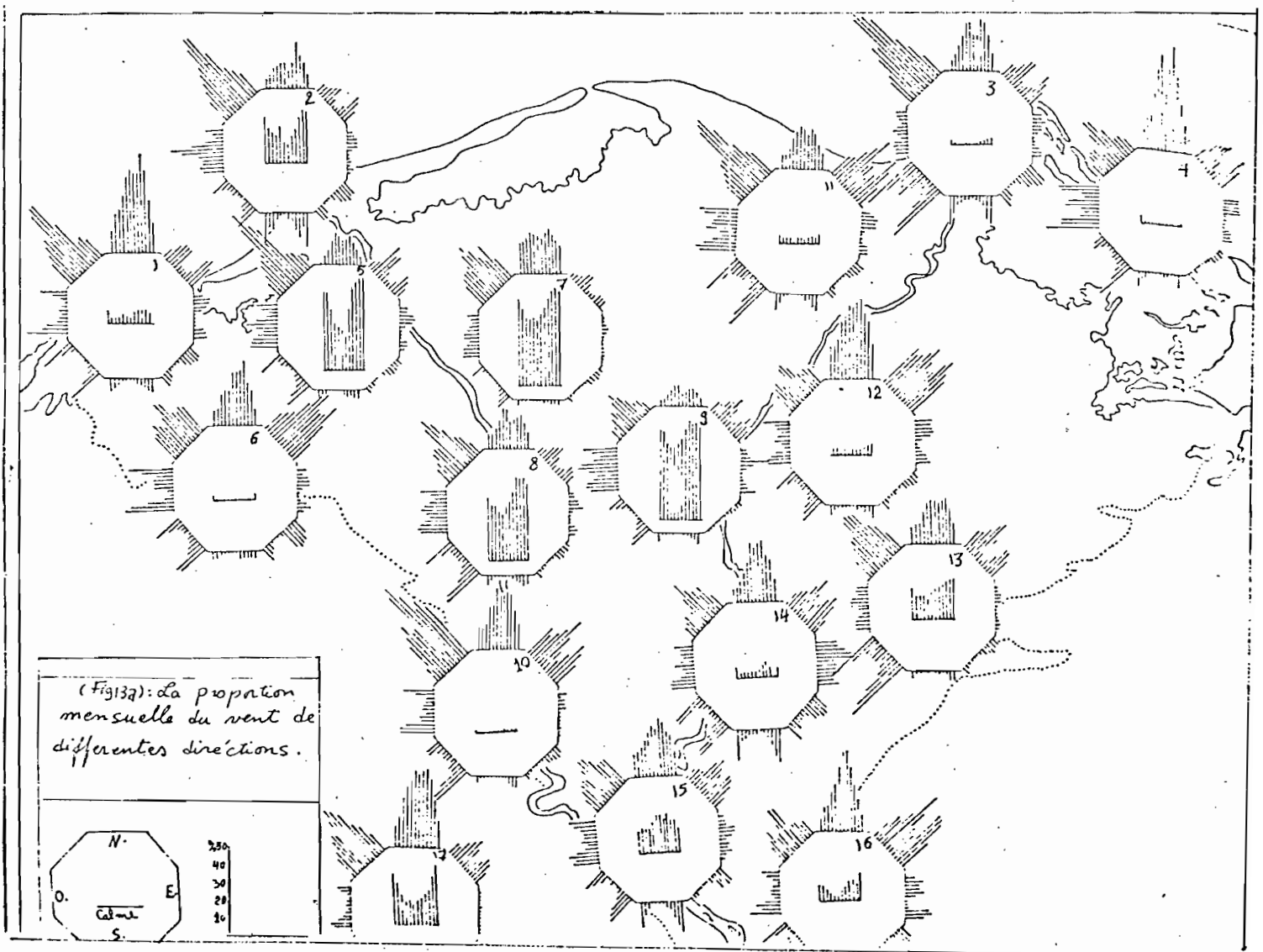
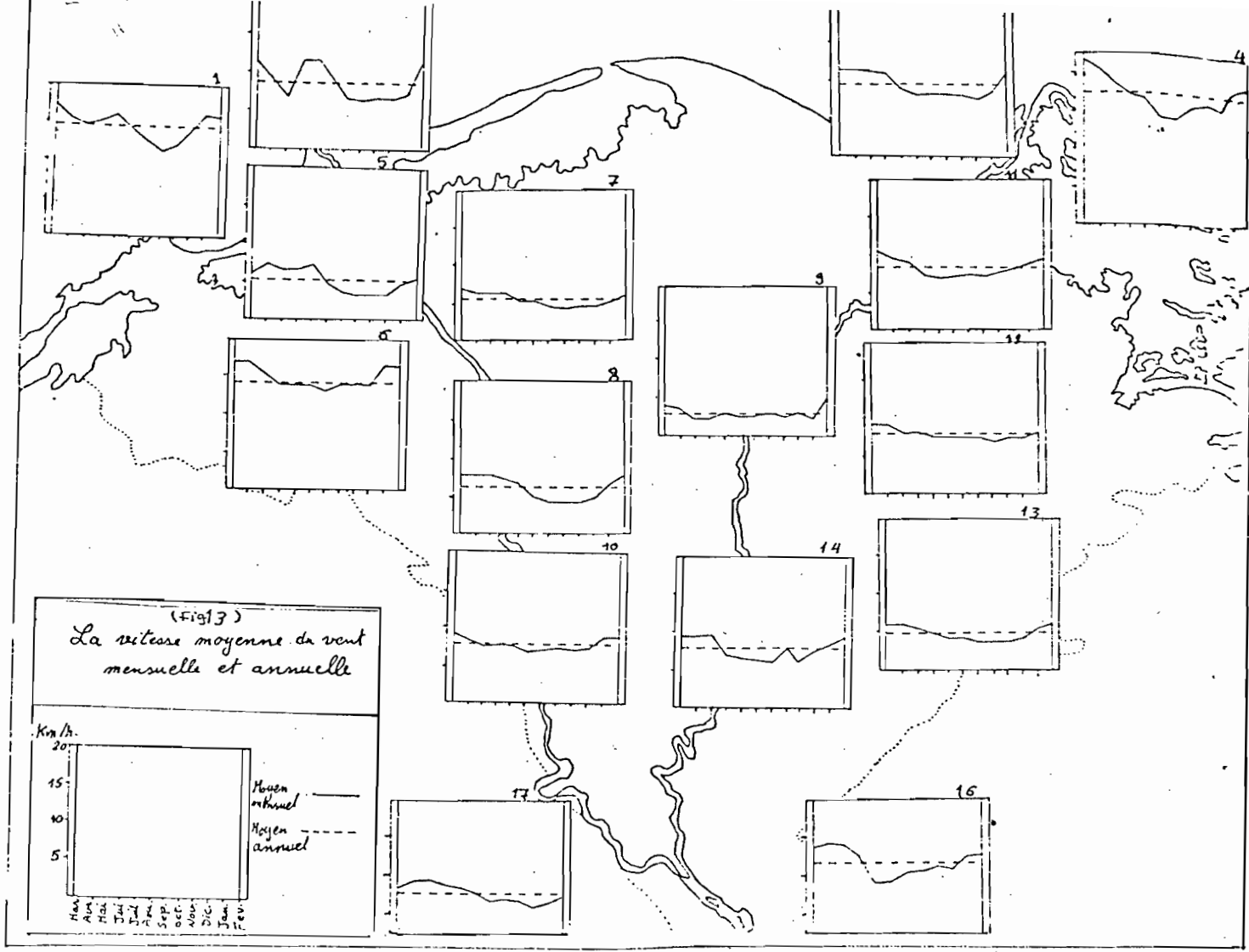


0 25 50 75 100 Km.



0 25 50 75 100 Km.





et en hiver qu'au Caire. Les figures jointes (Fig. 11, 11a et 11b) montrent la distribution des températures minimales, maximales et moyennes pendant les quatre saisons. La température minimale (en hiver) est  $< 6^{\circ}\text{C}$  au Sud et au Sud-Ouest du delta. La température arrive au maximum en été ( $> 36^{\circ}\text{C}$ ) dans la zone la plus septentrionale et de  $36-34^{\circ}\text{C}$  au Sud et au Sud-Est de cette région. La température moyenne en été est  $< 26^{\circ}\text{C}$  au Nord,  $26-27^{\circ}\text{C}$  dans la zone centrale et dépasse  $27^{\circ}$  plus au Sud. En hiver elle est  $> 15^{\circ}\text{C}$  au Nord, diminue à moins de  $12^{\circ}\text{C}$  au Sud, (Sud-Ouest comme Sud-Est) et réaugmente à  $14-15^{\circ}\text{C}$  au Sud. Au printemps, la température moyenne est  $< 18^{\circ}\text{C}$ ,  $18-19^{\circ}\text{C}$  et  $> 20^{\circ}\text{C}$  au Nord, au centre et au Sud respectivement. En automne la température moyenne est  $> 23^{\circ}\text{C}$  à la côte et au Sud-Est, au Nord et à l'Est et  $< 23^{\circ}\text{C}$  au centre et au centre Ouest.

### 5.c.- Humidité relative.

La figure n° 12 représente la répartition des valeurs d'humidité relative qui atteint son maximum au centre du delta ( $> 75\%$ ), tandis que en été et plus encore au printemps elle diminue et la zone la plus sèche, moins de  $50\%$  et entre  $50$  et  $55\%$  se trouve au Sud et au Sud-Est. Dans la zone Nord, l'humidité atmosphérique ne présente pas de variations saisonnières aussi importantes car au printemps, en été et en automne, elle est de  $75-70\%$  et en hiver elle ne s'abaisse qu'à  $70-65\%$ .

### 3.d.- Les vents.

Le passage de dépressions atmosphériques au-dessus de l'Egypte ne provoque pas l'augmentation de la pluviométrie ; ainsi le vent du Khamasin qui est un des vents caractéristiques du delta est un vent sec. Il vient du Sud ou du Sud-Est. Les Khamasins sont dûs à une dépression qui se produit fréquemment au printemps. Venant du désert, elle gagne le Nord du pays. Sur la figure 13 sont indiquées pour chaque mois, la direction des vents, la proportion relative de chacun d'eux, la distribution de leur vitesse moyenne dans les 17 stations météorologiques étudiées. La vitesse maximale est atteinte par les vents du Nord-Ouest et du Nord-Est. Au Nord-Est, la vitesse moyenne annuelle est  $18\text{ km/h}$  pouvant atteindre  $22\text{ km/h}$  en Mars et descendre à  $13\text{ km/h}$  en Août. Au Nord-Ouest la vitesse moyenne annuelle est  $15\text{ km/h}$  avec des extrêmes de  $17\text{ km/h}$  en Mars

et 10 km/h en Septembre.

Au centre, au centre-Ouest et à l'Est-Sud-Est (stations 5, 7, 9 et 13) la vitesse est minimale, les moyennes annuelles n'allant que de 3 à 6 km/h.

Les différentes directions des vents et leur proportion relative ainsi que leur intensité sont représentées pour chaque mois sur la figure 13. Au Nord, Nord-Ouest et Nord-Est, la plus forte intensité est au mois de Mars ; les directions principales étant nord et nord-ouest. En général, le vent est faible au mois d'Octobre, Décembre, Janvier et Février. Au centre et centre-Est du delta (station 5,7, 8 et 9) le vent est faible dans son ensemble, il est plus fort au Sud et au Sud-Est, et beaucoup plus violent au Nord-Est et à l'Ouest.

#### 5.d.- Evaporation.

La figure 14 représente les moyennes annuelles et mensuelles d'évaporation mesurées par la méthode de PICHE dans 17 stations du delta. L'évaporation annuelle arrive au maximum au Sud-Est (10,5 mm/jour) avec des extrêmes de 14 mm/jour en Mai et 6 mm/jour en Décembre. La moyenne annuelle d'évaporation est au maximum (4 mm/jour) au Nord et au Nord-Est. Les stations 1, 2, 3, 4 et 12 indiquent des variations faibles durant l'année. Les moyennes annuelles au centre et plus au Sud du delta varient entre 5 et 7 mm/jour avec des variations mensuelles qui deviennent fortes vers le Sud.

#### 5.e.- Les facteurs d'aridité.

La corrélation entre les caractères des sols et le facteur de pluie a été étudiée par des nombreux chercheurs.

LANG (1920), a proposé un rapport indiquant le degré d'aridité plus ou moins poussée du climat en exprimant l'influence de l'évaporation par la température annuelle T, le degré centigrade pluviométrie annuelle étant représentée par P en m/m.

$$\text{Facteur de LANG} = \frac{P}{T}$$

EMBERGER (1951) a étudié le climat méditerranéen et sa relation avec

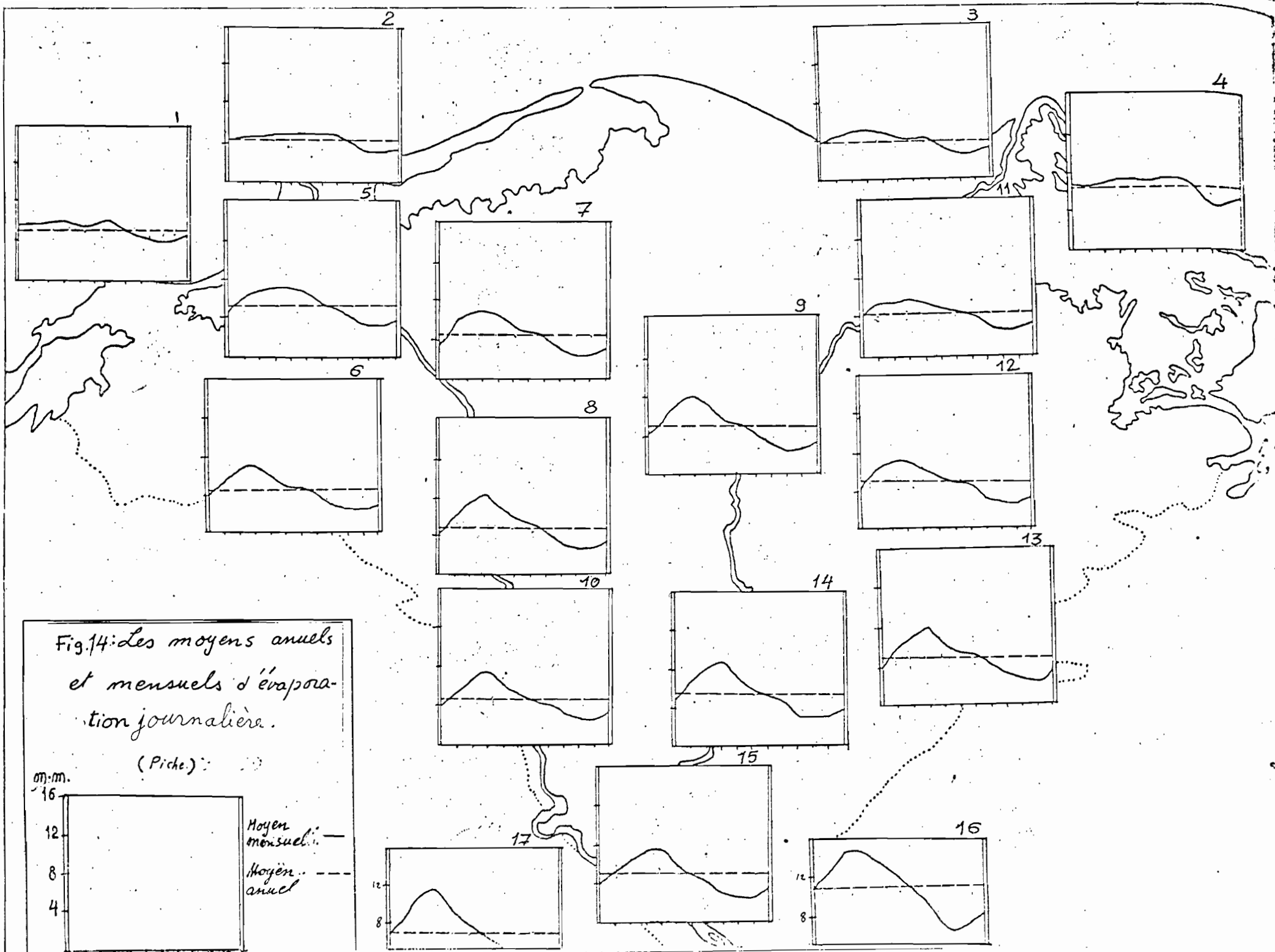


Fig.14: Les moyens annuels et mensuels d'évaporation journalière.  
 (Piche.)

m.m.

Moyen mensuel —  
 Moyenn annuel - - -

A M J J A S O N D

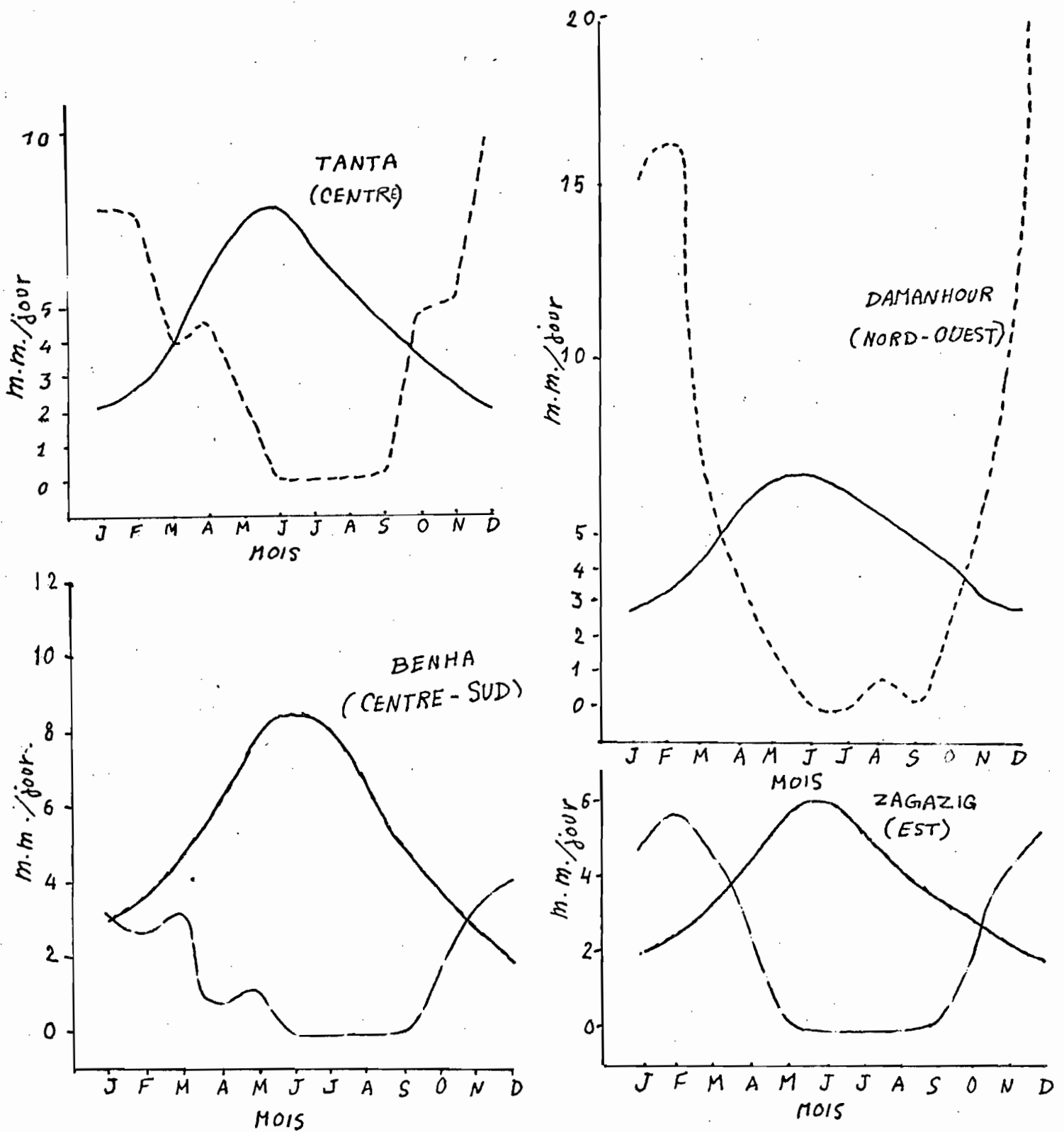


Fig.14a : Les valeurs mensuelles des précipitations (---) et de l'évaporation (—) dans le delta .

l'altitude. Il a présenté la formule suivante :

$$Q = \frac{P}{(M + m)(M - m)} \times 100$$

car :

P = précipitation annuelle en mm.,

M = la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud,

m = la moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

Les valeurs les plus basses du quotient (Q) indiquent climat le plus aride,EMBERGER a présenté des exemples des différentes valeurs du quotient (Q) dans des régions différentes. En Méditerranée, les valeurs extrêmes indiquées varient de 95.0 à 12.0.

Le quotient de précipitation N/SQ est largement utilisé par MEYER (1926), celui-ci est obtenu par les opérations suivantes :

$$N/S Q. = \frac{\text{Précipitation (mm)}}{\text{Déficit de saturation absolu de l'air (mm mercure)}}$$

$$N/S Q. = \frac{\text{Précipitation moyenne annuelle (mm)}}{\left(\frac{100 - H.R.}{100}\right) \times \text{Moyenne de pression de vapeur à la température moyenne annuelle}}$$

car :

H.R. = l'humidité relative %.

Ces formules sont appliquées pour calculer l'aridité climatique de la région du delta :

Station	Facteur d'aridité		
	LANG	EMBERGER (Q)	MEYER (N/S Q)
Gliza	1.31	2.11	4.56
Khanka	1.43	2.46	6.68
Barrage de delta	1.05	1.77	4.71
Zagazig	1.45	2.44	6.42
Tanta	3.6	4.0	10.5
Damanhour	5.1	7.4	16.0

Il est clair que les valeurs obtenues sont très basses au Sud, ce qui indique que la région est extrêmement aride. Au Nord le climat est moins aride car il a des valeurs un peu plus élevées.

La figure 14a montre les valeurs mensuelles de la précipitation et de l'évaporation durant l'année, dans 4 stations du delta. En général l'évaporation est plus élevée que les précipitations entre Mars et Octobre et arrive au maximum en Juillet avec des différences entre 6 et 8 mm/mois. Dans la région centrale plus au Sud ; la période aride est plus longue (entre Janvier et Octobre).

#### I.6.- Hydrologie.

Il existe trois nappes aquifères dans l'ensemble des couches de sédiments du delta du Nil. Leur emplacement et leur évolution dépendent de la disposition des couches lithologiques des différentes régions (Fig. 15).

1. La première nappe existe toujours dans les limons argileux vers 1 à 1,5 mètre de la surface, c'est l'eau de la nappe phréatique. Les origines de ces eaux sont : (1) la filtration latérale de l'eau des canaux et des champs, (2) la filtration de l'eau à travers la couche sableuse gravillonnaire et (3) l'eau de drainage superficiel ou souterrain à la suite des irrigations. La figure 19 C présente la profondeur de la nappe phréatique dans six transects grossièrement parallèles à la côte. On voit dans les premiers A et B que dans la zone liée à la branche Domietta, la nappe est très proche de la surface par rapport à celle de la branche Rosetta. La coupe A montre que son niveau remonte encore dans la zone liée au lac Manzala. Dans les travers C, E et F la nappe remonte à l'Est à cause de l'infiltration d'eau du canal d'Ismaïlia.

La carte (Fig. 16) représente le niveau de la nappe phréatique étudié par l'équipe de la "Soil survey section" du Ministère de l'Agriculture. Leurs mesures de la nappe phréatique dans tout le delta du Nil ont duré 10 ans (entre 1958 et 1968). La nappe était au moins 150 cm de profondeur dans la majorité de la partie sud, et moins profonde dans la partie nord près des lacs et de la côte ; et elle y arrivait parfois à moins de 20 cm de la surface et dans quelques secteurs les sols étaient

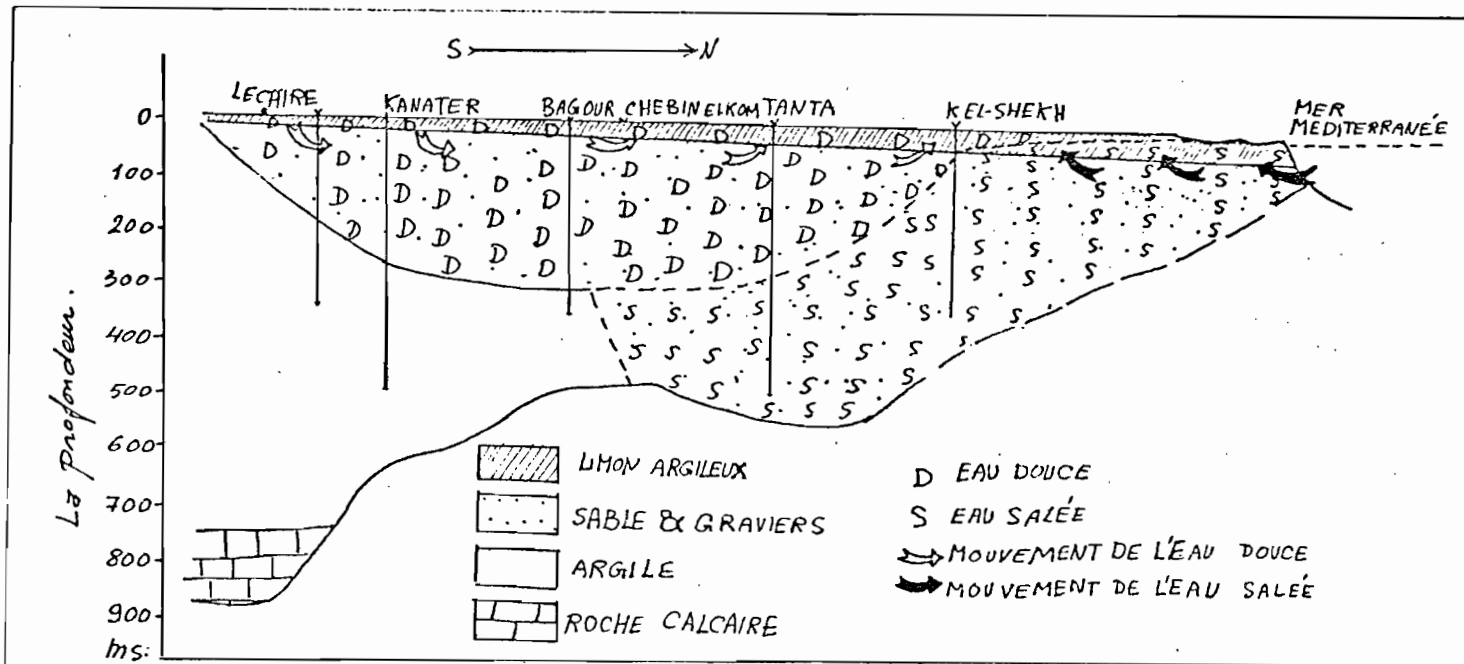


Fig.15: Profil Hydrologique du delta d'après M.I Pavlow, (1970)

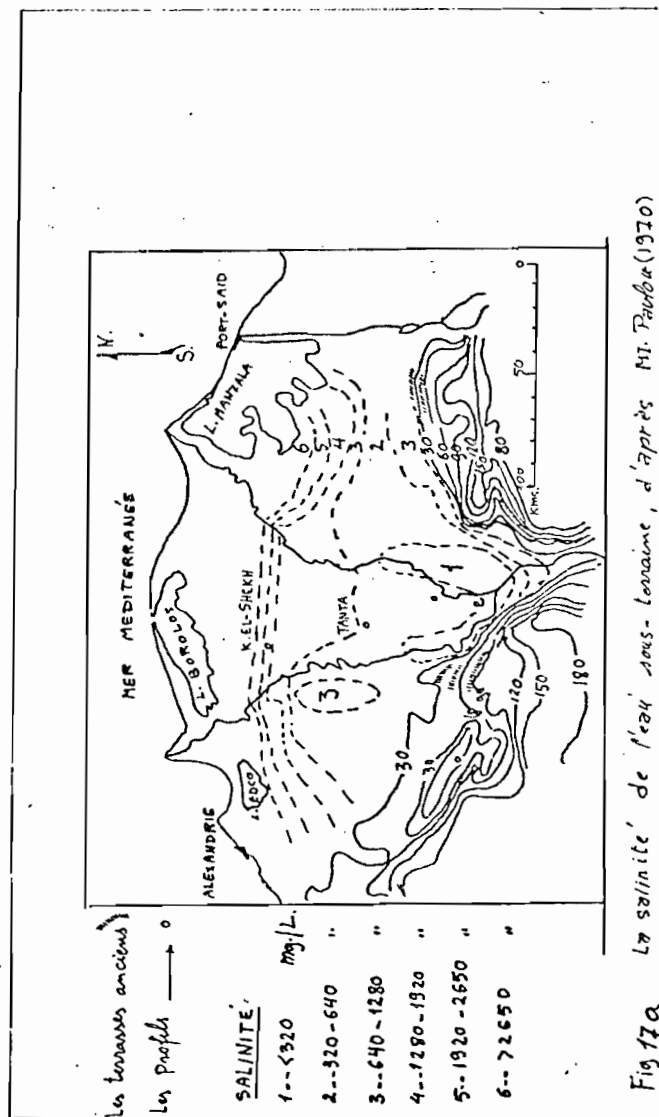
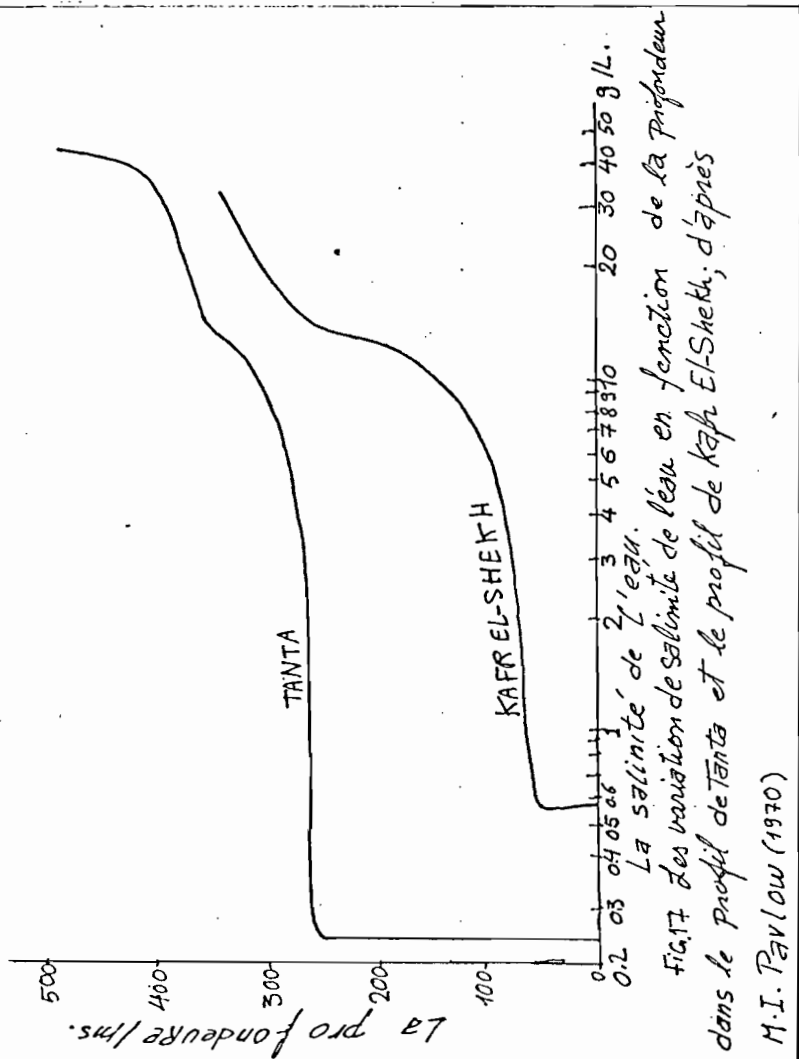


Fig.17 La salinité de l'eau sous-terreine, d'après M.I. Pavlow (1970)

"SOIL SURVEY SECTION  
SOILS DEPARTMENT MER  
MINISTRY OF AGRICULTURE"  
U. A. R.

M E D I T E R R A N E E

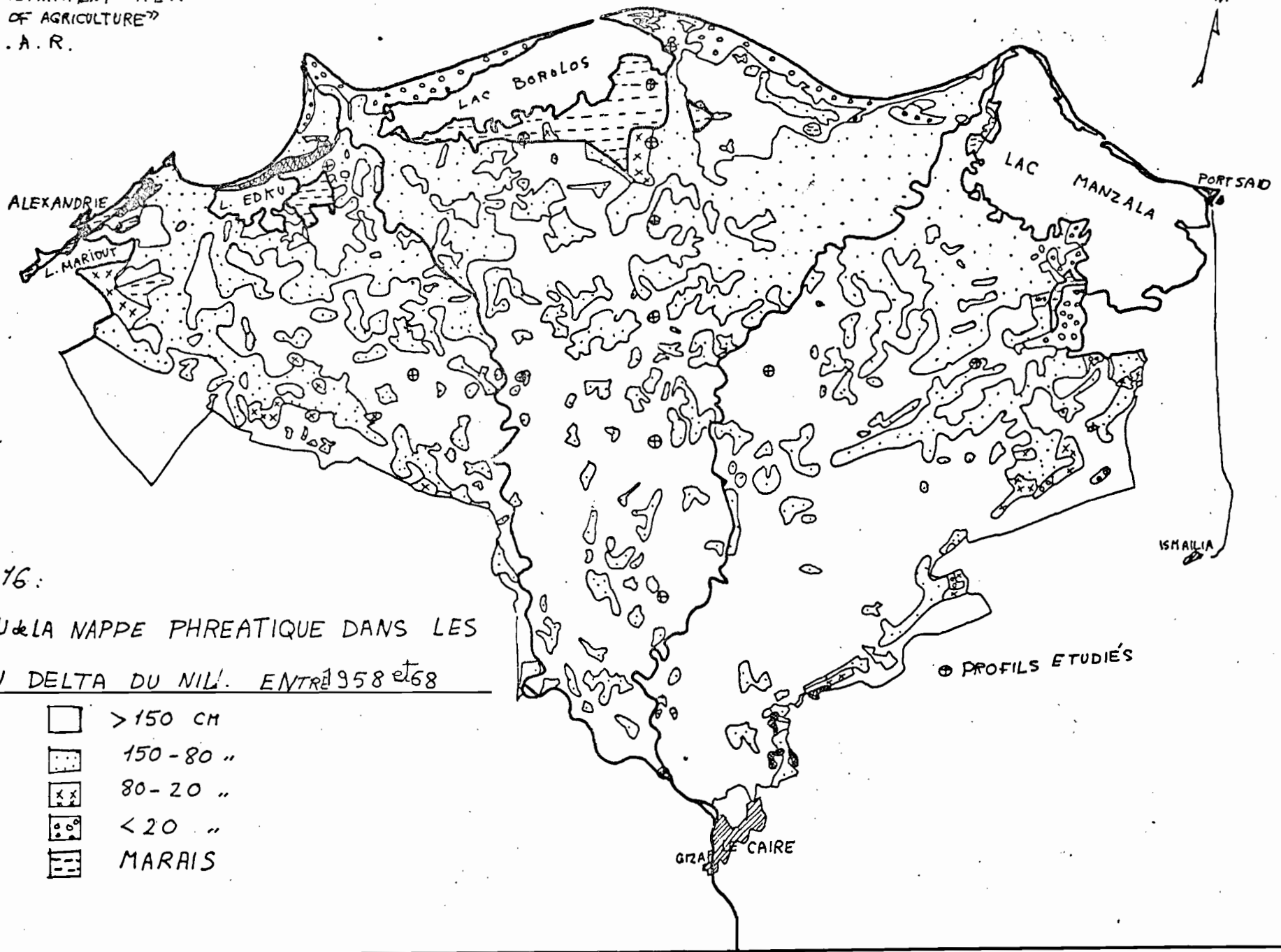


Fig: 16:  
LE NIVEAU & LA NAPPE PHREATIQUE DANS LES  
SOLS DU DELTA DU NIL. ENTRE 1958 et 68

même couverts par l'eau. D'ailleurs encore maintenant les sols de la zone nord sont toujours humides et souvent gorgés d'eau ce qui provoque une mauvaise aération et la gleyfication.

Les figures 14, 14a, 14b et 14c montrent la position de la nappe dans 4 transects établis par nous-mêmes en Octobre-Décembre 1974 et qui seront expliqués dans un autre chapitre. Cette nappe n'est salée que dans la partie Nord du delta.

2. La deuxième nappe : existe dans la couche sableuse gravillonnaire qui apparaît au niveau de la mer et s'étend jusqu'à 250 mètres de profondeur. Cette couche est considérée comme une source d'eau potable et présente une grande capacité (800-1 000m<sup>3</sup> par heure). Sous ce niveau l'eau douce pénètre l'eau salée provenant de la mer et qui se mélange d'ailleurs plus ou moins à la première le long de la côte.

3. La troisième nappe : se trouve au-dessous de cette masse d'eau salée. Dans cette zone l'eau dite douce est cependant relativement plus riche en sels solubles. La concentration varie de 300 mg/l au sud du delta où dominent bicarbonate et chlorure de sodium jusqu'à 3 000 mg/l au nord, avec une très large dominance de NaCl (fig. 17a).

Les profondeurs de cette nappe varient de zéro au Nord à 300 mètres au centre du delta (à Chebin Elkon). La figure 17 indique les variations de salinité de l'eau en fonction de la profondeur dans le profil de Tanta et dans celui de Kafr El Shekh. Dans le profil de Kafr El Shekh on observe une augmentation rapide de salinité de 50 à 100 mètres due au mélange entre l'eau salée qui vient de la mer et l'eau douce qui vient du sud.

#### 6.a.- Irrigation.

L'agriculture en Egypte dépend de l'irrigation artificielle en utilisant l'eau du Nil. Avant 1920, il y existait un seul système d'irrigation, le système des bassins. Dès 1920 jusqu'à l'achèvement de la première phase du haut barrage (mai 1964), deux systèmes ont été pratiqués : le système d'irrigation permanente sur le delta et le système d'irrigation temporaire dans la vallée. Désormais il n'y aura que le système permanent dans la vallée aussi bien que dans le delta.

Dans le système dit temporaire on se borne à faciliter le passage de l'eau du Nil dans les chenaux pendant la crue. Le système permanent nécessite la mise en place de barrages régulateurs et de canaux pour avoir tout au long de l'année de l'eau disponible à pouvoir distribuer. En 1843-1865 le barrage du delta a été construit à sa pointe pour retenir les eaux de crue en Juillet, Août et Septembre. Ces eaux doivent servir à cultiver le delta au moment de la sécheresse entre Février et Juillet. Le barrage d'Assouan date de 1898-1902. Il retenait 980 millions de  $m^3$ ; Il a été développé en 1909 pour mettre en réserve 2,500 millions de  $m^3$ . En 1912 le barrage d'Assouan a été élevé à 121m de hauteur, il pouvait alors retenir 5 millions de  $m^3$ .

Enfin le Haut barrage a été construit et achevé en 1960 pour convertir tous les terrains cultivés en Irrigation par le système des bassins en irrigation de type permanent (en 1964). Avant la construction du Haut barrage, 93 milliards de  $m^3$  d'eau passaient le barrage d'Assouan dont 50 milliards pour l'irrigation; 43 milliards de  $m^3$ , en moyenne, étaient ainsi perdus dans la mer chaque année. Les eaux de crue varient entre zéro et cent milliards de  $m^3$  par année; la construction du Haut-barrage était indispensable. La hauteur du Haut-barrage est de 111 mètres et le réservoir du lac Nasser a une capacité de 157 billions de mètres cubes avec une altitude maximale de + 182 mètres; le lac couvre 5 000  $km^2$ . Le Haut-barrage a servi aussi à résoudre le problème de l'énergie. Il produit 10 millions de K.W./an, soit 6 fois l'énergie actuellement utilisée en Egypte.

Jusqu'à présent il y a six barrages et une chaîne de canaux de 24 994 km de longueur (Fig. 18 et 18a). Ce système et son mode d'utilisation permettent de réaliser jusqu'à trois cultures par an.

Finalement l'Egypte est un des pays du monde qui pratique un système d'irrigation artificielle totalement contrôlé. Willcocks (1913), Sirry (1937) et Hashem (1957) ont décrit l'irrigation permanente réalisée dans le delta (fig. 8 et 8a).

On peut résumer comme suit le développement de la consommation d'eau du Nil pour l'irrigation.

1. Avant la construction du Haut-barrage, 43 milliards de  $m^3$  par an.

2. Après la construction du Haut-barrage 55,5 milliards de m<sup>3</sup> par an. Après accord avec le Soudan, c'est même jusqu'à cette année (1977) 57 milliards. Les 55,5 milliards de m<sup>3</sup> maintenant régulièrement pris pour l'Egypte suffisent pour irriguer 1,2 millions faddan (0,50 millions d'hectares) et convertir 0,7 millions faddan (0,29 millions d'hectares) du système d'irrigation par bassins au système d'irrigation permanent.

3. Un projet en cours de réalisation, celui du canal Greongly au sud du Soudan, permettra d'augmenter la vitesse de l'eau du Nil dans cette zone de marais et d'accroître de 2 milliards de m<sup>3</sup> l'eau du Nil pour l'Egypte.

4. La réserve constituée par le 3è niveau sous terrain de la vallée et du delta comme indiqué précédemment représente 700 milliards de mètres cubes, dont l'utilisation serait possible par 10 000 puits sur 20 mètres de profondeur ; elle se répartit en 161 milliards de m<sup>3</sup> pour la vallée et 539 milliards de m<sup>3</sup> pour le delta jusqu'à 60 km de la mer.

5. Enfin 2,25 milliards de m<sup>3</sup> d'eau de drainage peuvent être utilisés sur les sols salés, procédé déjà parfois employé (eau de drainage seule ou en mélange avec celle d'irrigation proprement dite).

#### 4.B. Besoins en eaux des cultures (Utilisation-U), et quantités nécessaires d'eau d'irrigation (E.I.)

Des expérimentations et des recherches ont été réalisées pour déterminer ces valeurs en fonction des données obtenues sur l'importance de l'évaporation. Ce furent d'abord celle de Briggs et Shantz (1916) suivis par Thornthwaite (1948). Plus tard, en 1952, Griddle & Blancy ont proposé une formule développée de la forme suivante :

$$U = \sum K \frac{LP}{100}$$

U = Utilisation d'eau (en inches) pendant chaque période.

K = Coefficient mensuel d'utilisation

t = température moyenne mensuelle (F°)

P = Pourcentage de longueur de jour (heures, en fonction de l'année).

Hargreaves (1955) a utilisé la formule suivante :

$$U = \sum K.d (0.38 - 0.0038h) (t - 32)$$

K = Coefficient mensuel d'utilisation

d = Coefficient de longueur du jour

h = Humidité relative moyenne mensuelle

t = Température moyenne mensuelle (F°)

Pour avoir les besoins en eau des cultures, en m<sup>3</sup>/Feddan il faut multiplier U par  $\frac{2.54 \times 4\ 200^+}{100}$ , et en m<sup>3</sup>/Hectare par  $\frac{2.54 \times 2\ 400}{100} \times 2,4^{++}$

Dans le tableau n° 1 nous avons reporté les valeurs de ce besoin en eau pour les cultures habituelles du delta du Nil dans le sud et le centre en comparant les résultats des méthodes de calcul de Blancy-Griddle et de Hargreaves. Ce calcul a été réalisé à partir des données climatiques présentées dès le sous-chapitre précédent.

Pour calculer les besoins en eau d'irrigation, il faut pour des eaux non salées, utilisées sur des terrains non salées, diviser par 0.6 pour les textures légères, et par 0.7 pour les textures<sup>+++</sup>. Les résultats indiqués dans les tableaux 1 et 2 indiquent que la formule d'Hargreaves donne des valeurs de consommation en eau plus basses. La différence entre les deux est faible dans le cas des cultures estivales. En général le besoin en eau augmente du nord vers le sud et du centre vers le désert du fait de la diminution d'humidité relative de l'air.

#### 4.c. Drainage

Dans le delta il y a deux systèmes de drainage, le premier en surface par déversement libre par gravité vers les lacs et la mer, et le deuxième par drainage profond et pompage à partir des drains généraux à ciel ouvert. 55 stations de pompage ont été installées dans le delta.

---

<sup>+</sup> 1 faddan = 7.200,8 m<sup>2</sup>

<sup>++</sup> 1 hectare  $\approx$  2,4 faddans).

<sup>+++</sup> l'efficacité d'irrigation est 60% pour les sols légers et 70% pour les sols lourds.

TABLEAU 1 - Consommation (U) d'eau des principales cultures du centre et du sud du delta  
en cm<sup>3</sup> d'eau par Faddan, d'après Labih et Seïeman (1965)  
(les valeurs sont reportées en m<sup>3</sup>/Fed.)

Plante	Période de croissance (au centre)	Nombre de mois	K (U/mois)	Damanhur 31° 2' (humide)		Mansura 30° 3' (sec)		Tanta 30° 47'		Gemmeiza 30° 48'			
				Cr. & Bl	Harg.	Cr. & Bl	Harg.	Cr. & Bl	Harg.	Cr. & Bl	Harg.		
Coton	15 fév.-31 oct.	8.5	0.62	3 472	2 498	3 557	2 603	3 428	2 565	3 493	1 888		
Riz	15 mai -31 oct.	5.5	1.00	4 060	3 018	4 168	3 089	4 028	3 094	4 022	2 330		
Maïs	15 juin-15 nov.	4.0	0.75	2 007	1 193	2 019	1 332	2 866	1 267	2 012	986		
Blé	1 nov.-15 mai	6.0	0.75	1 739	683	2 206	1 159	1 933	1 087	2 081	712		
Orge	1 nov.-15 avril	5.5	0.75	1 384	262	1 781	792	1 615	726	1 760	484		
Luzerne	1 nov.-31 mai	7.0	0.85	2 541	1 188	2 942	1 743	2 722	1 647	2 882	1 033		
Plante	Période de croissance (au sud)	mois	K (U/mois)	Griza (texture légère)		Barrage (texture légère)		Banha (texture légère)		Kanka (texture lourde)		Zagazige (texture lourde)	
				Cr. & Bl	Harg	Cr. & Bl	Harg	Cr. & Bl	Harg	Cr. & Bl	Harg	Cr. & Bl	Harg
Coton	1 mars-30 oct.	8.5	0.62	3922	2731	3986	2744	2997	2788	4028	2738	3924	3055
Riz	15 mai -15 sept.	5.5	1.00	3168	3241	3171	2228	3182	2294	3230	2020	3134	2713
Maïs	15 Juil-15 nov.	4.0	0.75	2002	1595	2033	1083	2041	1148	2390	1348	2058	1318
Blé	15 nov.-15 mai	6.0	0.75	2054	1235	2114	1107	2121	1044	2352	1681	2260	1256
Orge	10 nov.-15 avril	5.5	0.75	1821	1014	1878	928	1884	860	2013	989	3934	864
Luzerne	1 oct.-30 mai	7.0	0.86	3544	2605	3651	2226	3732	2187	3604	2183	3613	2105

TABLEAU 2 - Quantités nécessaires d'eau d'irrigation en terrains non salés du centre et du sud du delta, pour les principales cultures  
(les valeurs sont reportées en m<sup>3</sup>/Fed.)

Plante	Damanhour (humide)	Mansoura (sec)	Genmeiza	Tanta
Coton	4264	4400	3843	4280
Riz	5055	5183	4537	5080
Maïs	2285	2393	2147	2952
Blé	1730	2403	1995	2157
Orge	1175	1837	1602	1672
Luzerne	2663	3346	2796	3122

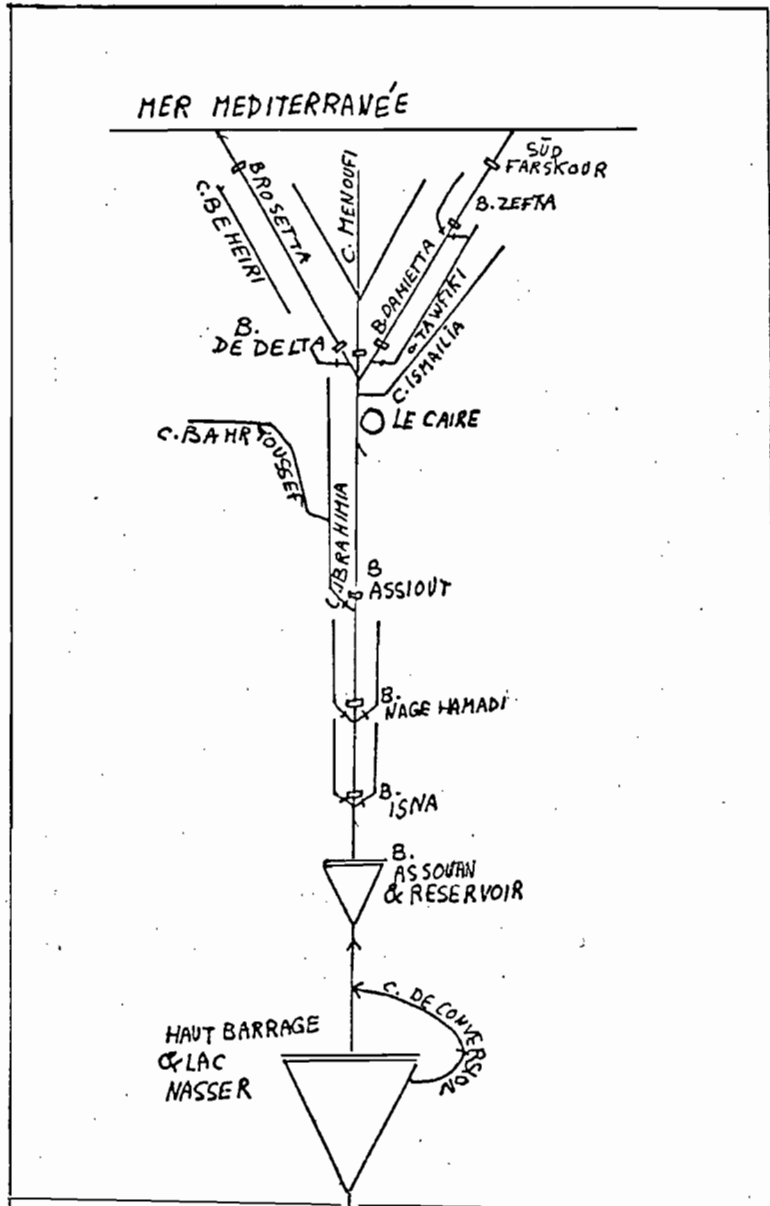
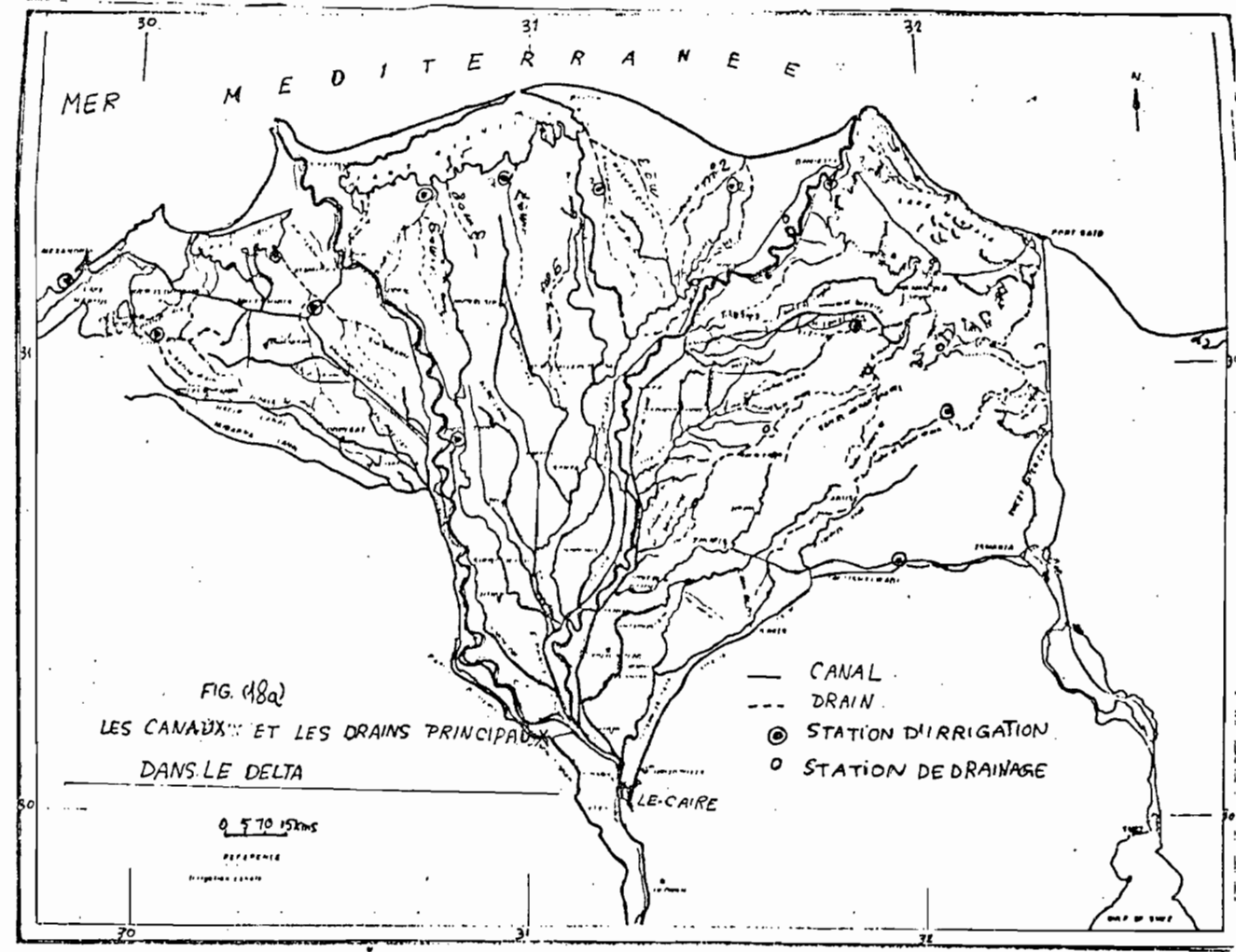
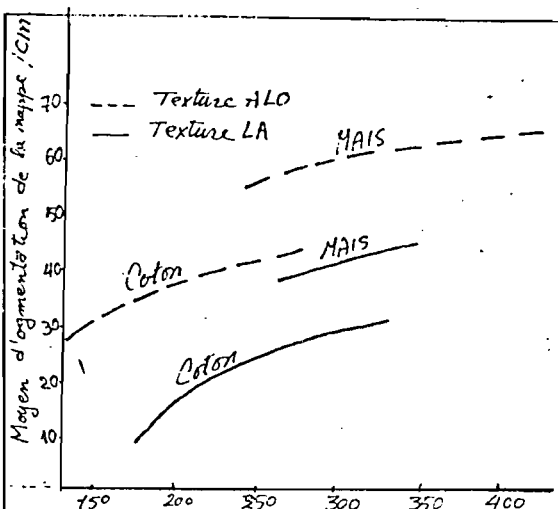


Fig.18 : Le systeme d'irrigation dans la vallée et le delta d'après H. Abdallah (1)





Le moyen de l'eau d'irrigation m<sup>3</sup>/ha. ajouté en chaque fois.

Fig.19 : L'effet de l'irrigation régulière en été et de la texture sur la nappe phréatique d'après M. El-Shal (1953)

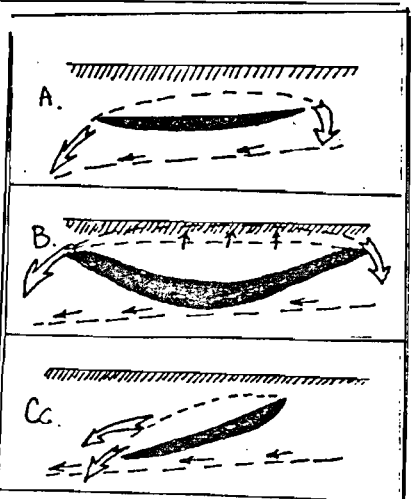


Fig.19 a: L'effet des couches lenticulaires (argile lourde) sur la nappe phréatique. d'après ZER EL-ABEDIN (1959).

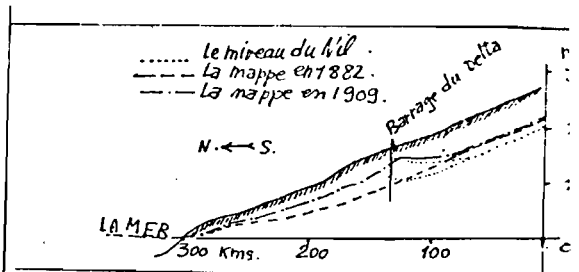


Fig.19 b : L'effet du barrage du delta sur la nappe, (d'après ZAGLOUL); ZER EL-ABEDIN (1959)

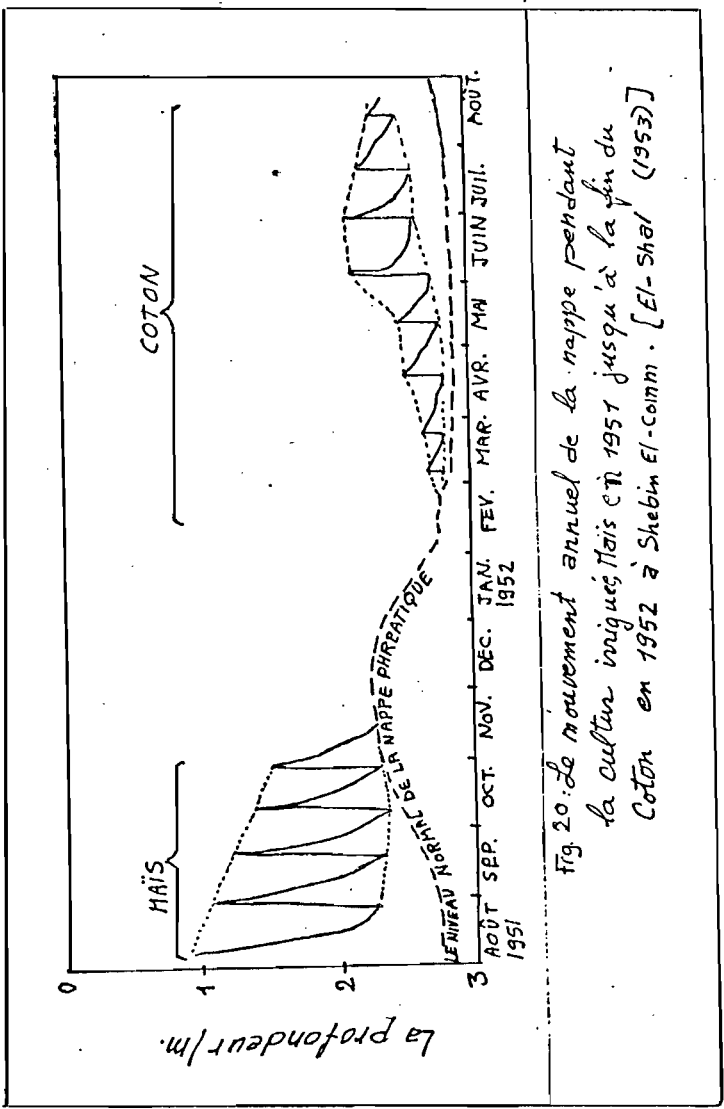


Fig.20: Le mouvement annuel de la nappe pendant la culture irriguée, Maïs et Coton en 1952 jusqu'à la fin du Coton en 1952 à Shebin El-komm. [El-Shal (1953)]

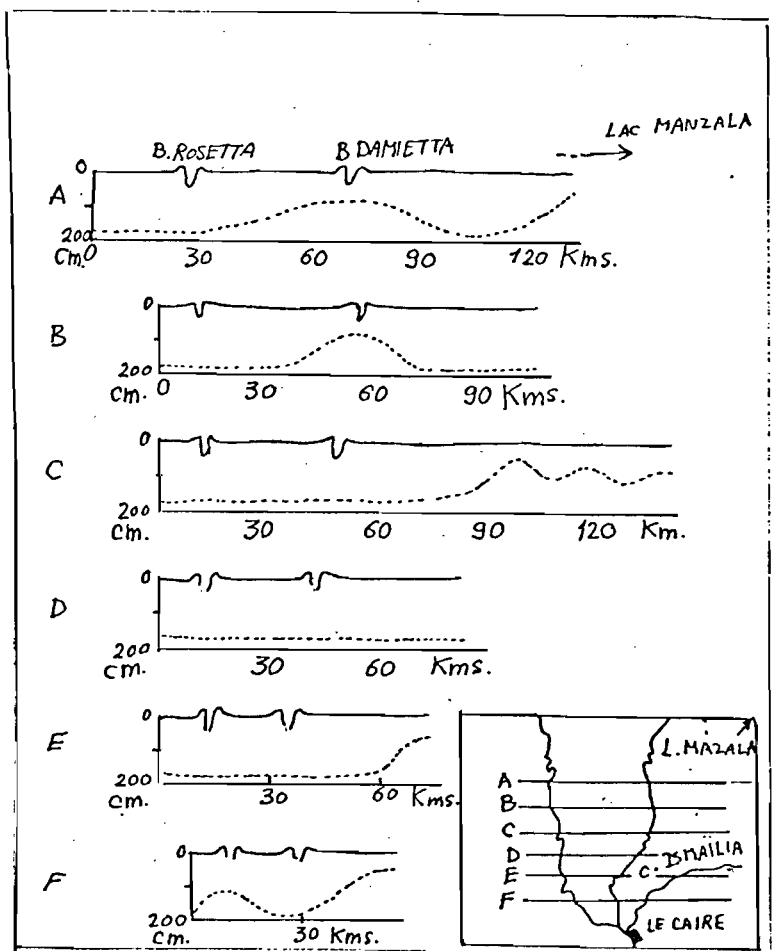


Fig. 19 c LA NAPPE PHREATIQUE DANS SIX PROFILS PRISE EN FEVRIER-MAI 1960 (d'après FAWKEA LABIB 1965)

Chaque station peut desservir une superficie de 11 000 à 148 000 faddans, soit 4,600 à 61,700 hectares selon sa puissance.

La longueur des drains "généraux" est de 3 375 km ; il s'y ajoute 14 400 km des drains "particuliers" souvent dénommés drains "publics". Après la mise en place du système permanent d'irrigation il a fallu contrôler le drainage de l'eau accumulée par la suite pour empêcher la remontée de niveau de la nappe phréatique. Dans la région du delta, cette remontée de la nappe provoque l'accumulation des sels et l'alcalisation à la surface des sols, surtout dans les cas où les caractères physiques des sols ralentissent la percolation de l'eau. Les sols du delta présentent en effet des conditions et des caractères qui favorisent leur dégradation lors de leur utilisation par irrigation permanente. Leur texture très lourde, leur structure souvent massive et leur mauvaise perméabilité seront décrites dans les chapitres suivants. Par ailleurs le gaspillage d'un excès d'eau, en particulier à partir des canaux d'irrigation trop perméables, l'avance de l'eau de la mer, et l'aridité du climat sont des conditions très importantes dans cette région du delta et elles favorisent l'engorgement des sols et l'accumulation des sels.

La figure 13b représente l'effet du barrage du delta sur le niveau de la nappe entre 1882 et 1909 (avant et après la construction du barrage du delta). La construction du barrage du delta en 1882, a causé la remontée de la nappe phréatique dans le delta du Nil.

Dans le schéma (Fig. 19a) est indiqué l'effet sur la nappe de la forme d'une couche lenticulaire imperméable d'argile lourde comme il en existe de nombreuses dans les sédiments du delta. Il est évident que la forme de cette couche a un effet sur la remontée de la nappe phréatique car la forme convexe favorise une accumulation locale de l'eau de la nappe et la remontée de la nappe actuelle. Par contre la forme étroite et en pente aide l'écoulement rapide de l'eau de drainage vers la nappe actuelle.

L'évolution de la nappe en une zone dépend aussi des cultures qui y sont réalisées. La figure 19 montre l'effet sur la nappe phréatique de l'irrigation régulière de deux cultures estivales sur deux sols de texture différente (El-Shal 1953). L'irrigation régulière favorise la remontée de la nappe phréatique dans le cas du coton beaucoup moins que

dans celui du maïs, cela est sûrement dû au système racinaire profond du coton qui améliore la perméabilité du sol, alors que c'est le contraire dans le cas du maïs.

El-Shal (1953) a aussi étudié le mouvement annuel de la nappe pendant la culture du maïs et du coton entre 1951 et 1952, au centre du delta (fig. 20). Ses résultats sont analogues à ceux que nous venons d'indiquer.

La figure 19c montre l'effet de filtration des canaux d'irrigation et de la mer sur la nappe phréatique.

DEUXIEME PARTIE

---

LES SOLS ETUDIES

1. Les profils : (descriptions morphologiques).

Date : 12/11/1974

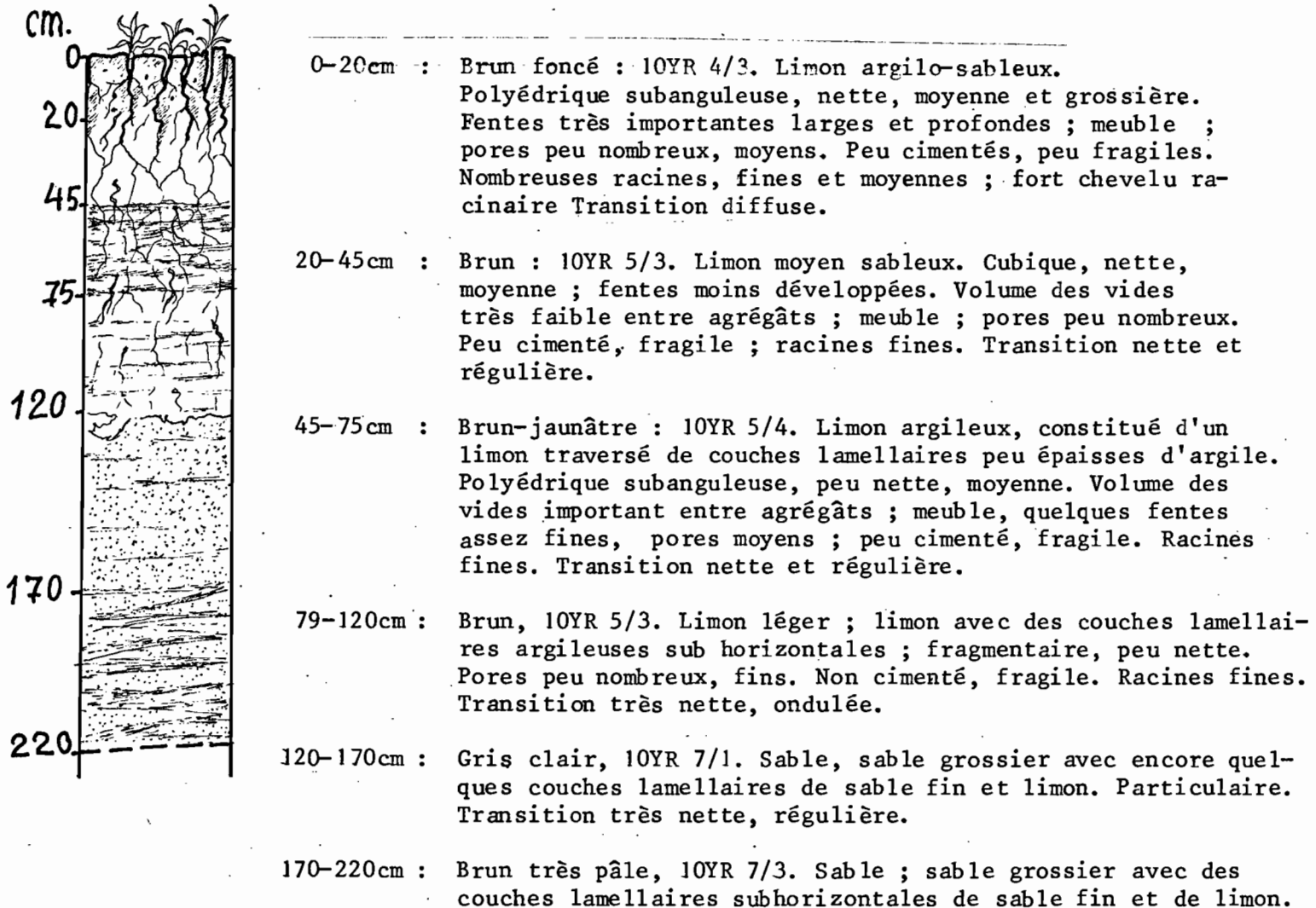
Profil K<sub>1</sub> (Kanater) :

Localisation : à la pointe du delta, 1 Km au sud du barrage du delta.

Altitude : 110 mètres. Profondeur de la nappe phréatique : 220 cm

Végétation : terrain labouré, après maïs ; quelques herbes.

Description du profil :



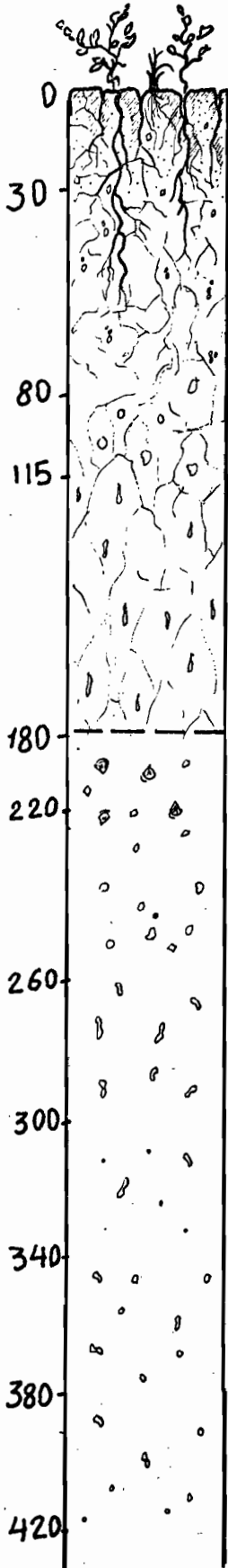
Profil K. (Kuiesna).

Localisation : 2 Km au sud de Kuiesna 4 Km à l'Ouest de l'îlot de sable (Dos de tortues).

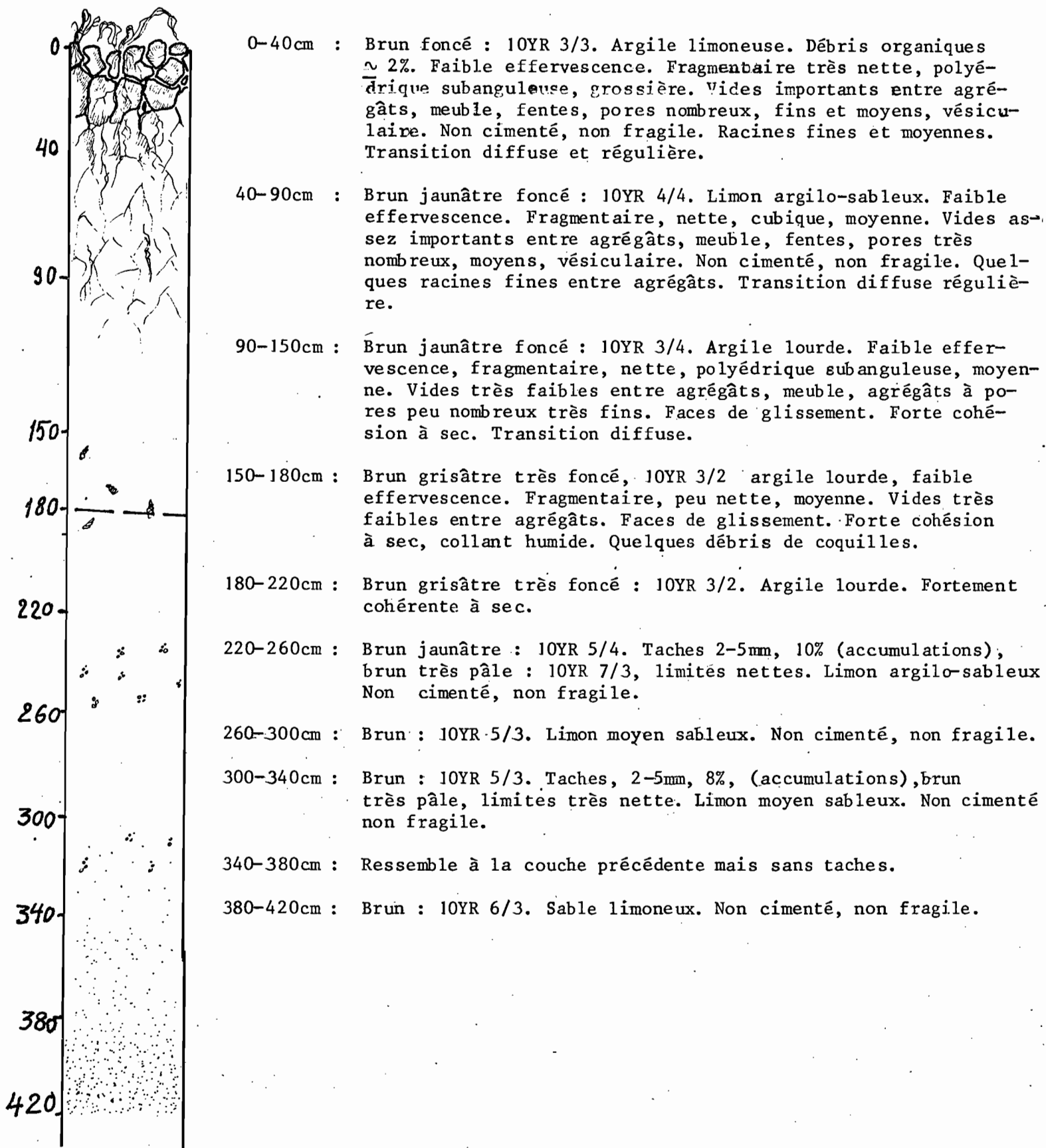
Altitude : + 16,20 mètres. Profondeur de la nappe phréatique : 180cm

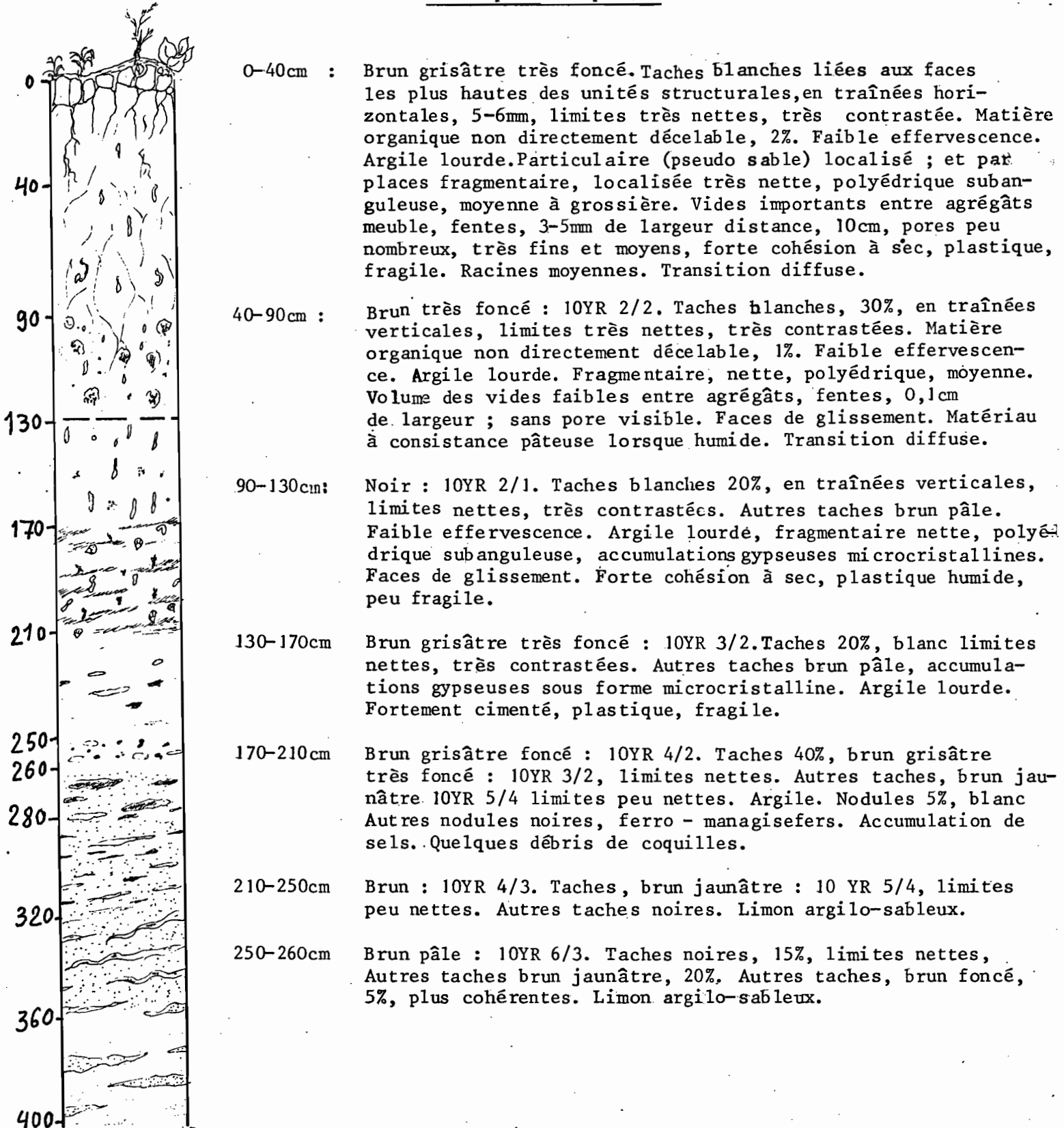
Végétation : arbres (agrumes), herbes diverses, surtout graminées.

Description du profil :

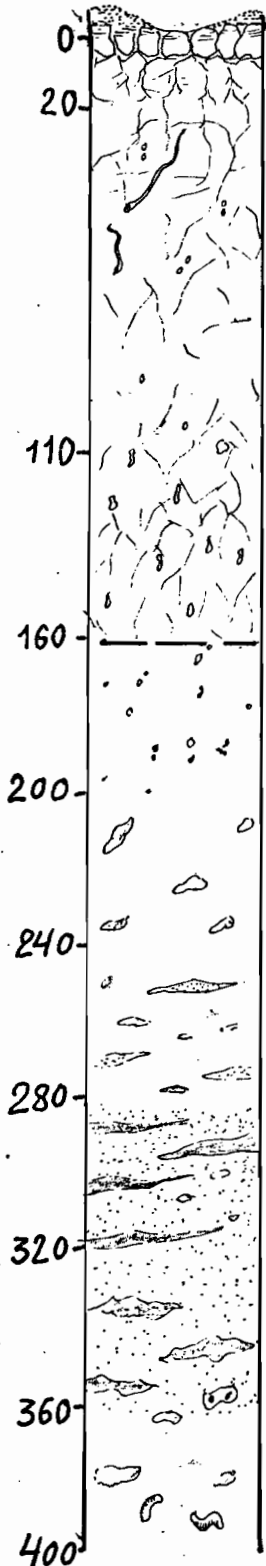


- 0-30cm : Brun-grisâtre très foncé : 10YR 3/2 ; matière organique :  $\approx$  3%. Argile avec des grains de quartz arrondis, paraissant rapportés sur le matériau fondamental du sol. Fragmentaire, nette, cubique, moyenne et fine. Volume des vides très important entre les agrégats, meuble, fentes, sans pore visible. Peu cimenté, peu fragile, nombreuses racines moyennes et fines. Débris pierreux d'activité humaine. Transition diffuse.
- 30-80cm : Brun-grisâtre très foncé : 10YR 3/2. Taches blanches, 2mm, 10%. Argile lourde. Fragmentaire, nette polyédrique subanguleuse moyenne : Volumes des vides peu importants entre agrégats ; meuble, sans pore visible. Faces de glissement moyennement développées. Peu cimenté, peu fragile. Quelques racines, fines et grosses. Transition diffuse.
- 80-115cm : Brun grisâtre très foncé : 10YR 3/2. Taches de calcaire, gris clair fragiles, 3mm, 10%. Autres taches, blanches, dures, (microcristaux de gypse). Argile lourde. Fragmentaire, nette polyédrique subanguleuse. Moyenne. Vides importants entre agrégats, pores peu nombreux, très fins. Faces de glissement ; forte cohésion à sec, très collant humide. Quelques racines. Transition diffuse, régulière.
- 115-180cm : Brun grisâtre très foncé : 10YR 3/2. Taches blanches, fragiles verticales (nodules calcaires), 2mm de large et 15mm de long. Argile lourde Fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse moyenne. Vides peu importants entre agrégats, sans pores visibles. Faces de glissement moyennement développées. Fragile.
- 180-220cm : Brun grisâtre très foncé : 10YR 3/2. Taches, gris clair, arrondies, fragiles. Argile lourde. Forte cohésion. Débris pierreux d'activité humaine (3mm), débris de coquilles.
- 220-260cm : Ressemble à la couche précédente, mais plus forte cohésion à sec.
- 260-300cm : Ressemble à la couche précédente, mais avec 10% de taches blanches, très dures, allongées, (nodules calcaires).
- 300-340cm : Ressemble à la couche précédente, mais avec 2% des taches (nodules calcaires).
- 340-420cm : Ressemble à la couche précédente mais avec des taches non calcaires au dessous de 380cm ce matériau comporte des débris pierreux d'activité humaine.

Profil G (Géméza)Localisation : 2 Km au Sud Est de la station El Géméza.Altitude : 7,10 mètres. Profondeur de la nappe phréatique : 180cmVégétation : Après la récolte de maïs.Description du profil

Profil H. (Hamûl)Localisation : 15 km au sud du lac Borolos.Altitude : + 1,0 mètre. La profondeur de la nappe phréatique : 1,3 mètre.Végétation : non cultivé, lessivé pour la 2<sup>e</sup> année, quelques herbes graminées et autres résistant aux sols salés.Description du profil

- 260-280cm Brun : 10YR 5/3. Taches, brun rougeâtre, 15%. Autres Taches noires 30%. Sable argileux.
- 280-320cm Brun olive clair : 2,5Y 5/4. Taches, brun jaunâtre : 10YR 5/6 Limon argilo-sableux, avec des lentilles de limon argileux, brun grisâtre : 10YR 3/2
- 320-360cm Brun grisâtre : 2,5Y 5/2. Taches grise, Autres taches brune, limites nettes. Limon argileux.
- 360-400cm Gris foncé : 2,5Y N4/, Limon sablo-argileux, avec des passées de couches sableuses, brun olive clair 2,5Y 5/4

Profil B : (Béala)Localisation : 35 km au sud du lac BorolosAltitude : + 2,30 mètres. La nappe phréatique a 1,6 mètreVégétation : non cultivé, quelques bambous.Description du profil

0-20cm : En surface, fortement ondulé, pseudosable sur 3 à 5cm, puis un horizon : Brun grisâtre très foncé : 10YR 3/2. Taches blanches, 1-2mm, 15%, (sels solubles), en traînées horizontales, à limites nettes, contrastées, liées aux surfaces les plus hautes des unités structurales, effervescence généralisée, diffuse. Argile lourde. Particulière localisée (pseudosable) et fragmentaire nette cubique, moyenne et grossière, localisée et lamellaire ailleurs. Volume des vides assez important entre les agrégats, fentes de 4mm de largeur, distantes de 10cm, agrégats à pores nombreux, moyens et larges, tubulaire. Peu cimenté peu fragile. Transition diffuse régulière.

20-110cm : Brun grisâtre très foncé : 10YR 3/2. Taches 0,5mm, 20%, calcaire, brun pâle : 10YR 6/3, liées aux faces des unités structurales. Autres taches, 3-4mm, 5%, brun : 10YR 4/3. Argile lourde. Fragmentaire, nette, polyédrique subanguleuse, moyenne. Volume des vides assez importants entre agrégats, meuble, fentes, 1-2mm de largeur, distantes 40mm forte cohésion à sec. Quelques racines, grosses. Transition diffuse régulière.

110-160cm : Brun très foncé : 10YR 2/2. Taches brunes : 10YR 4/3, 15%, 2-4mm. Autres taches, blanches, 20%, nettes, contrastées (nodules calcaires indurés). Des accumulations de gypse microcristallins. Argile lourde. Polyédrique subanguleuse, nette, moyenne. Volume des vides faible entre agrégats, meuble. Forte cohésion à sec.

160-200cm : Brun grisâtre très foncé : 10YR 3/2. Taches blanches, 7%. Nodules ferromanganésifères noirs, indurés. Argile lourde.

200-240cm : Brun grisâtre foncé 10YR 2/4. Taches, brun pâle, peu nettes 5%. Autres taches noires, 2-4mm, 10% nette (couches lenticulaires d'argile lourde). Argile. Peu cimenté.

240-280cm : Brun : 10YR 5/3. Taches, 5%, brun pâle. Argile avec des couches de sable limoneuse, non cimenté.

280-320cm : Brun : 10YR 5/3. Taches 5%, brun pâle. Autre taches noires (couches d'argile) 25%. Limon argilo-sableux. Non cimenté.

320-360cm : Brun : 10YR 5/3. Taches gris très foncé : 10YR 3/1 (couches d'argile). Autres taches, brun-jaunâtre : 10YR 5/6 20%. Argile limoneuse. Non cimenté.

360-400cm : Brun : 10YR 5/3. Taches gris très foncé, 25% (couches d'argile). Autres taches 10%, brun rougeâtre, Nodules calcaires blancs. Limon argilo-sableux. Non cimenté.

Date : 28/1/1975

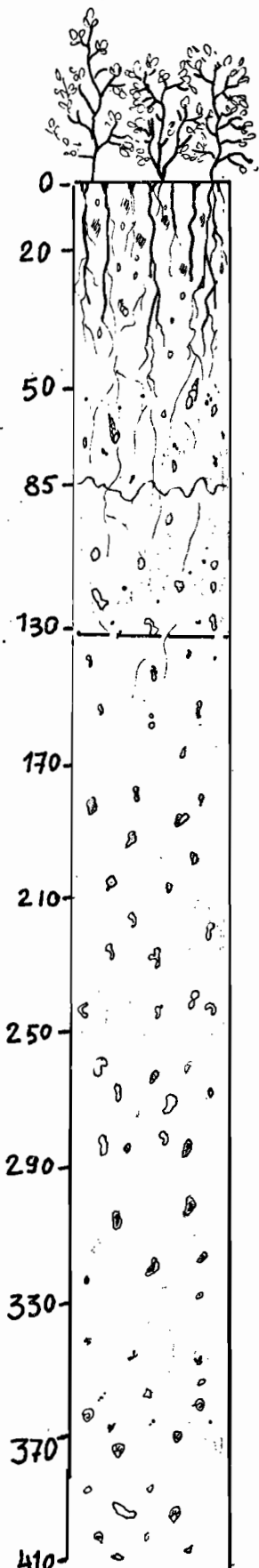
Profil S : (Samûl)

Localisation : à 50 km au sud du lac Borolos.

Altitude : + 4,0 mètres ; la profondeur de la nappe phréatique est 1,3 mètre.

Végétation : Luzerne à bonne production.

Description du profil



0-20cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Taches noires nettes, (matière organique calcinée). Autres taches, 15%, blanc 10YR 8/1, très nettes, contrastées ; effervescence généralisée. Argile lourde. Fragmentaire, nette, polyédrique subanguleuse moyenne. Vides importants entre agrégats, cohérent, fentes, 5mm de largeur, distantes de 15cm ; agrégats à sec nombreux, moyens. Peu cimenté, peu fragile. Nombreuses racines. Transition distincte et régulière.

20-50cm : Brun grisâtre : 10YR 5/2. Taches blanches 10YR 8/1 10%. limites nettes, contrastées. A débris organiques, 2%. Effervescence, généralisée. Argile lourde. Fragmentaire, peu nette, polyédrique subanguleuse. Pores peu nombreux, fins, forte cohésion, peu fragile. Quelques racines fines. Quelques débris de coquilles. Quelques pierres 2-4mm. Transition peu diffuse.

50-85cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Taches, brun pâle : 10YR 6/3 10%, limites peu nettes. Autres taches noires, 15%, probablement débris de charbon. Effervescence localisée. Argile lourde. Fragmentaire, peu nette polyédrique subanguleuse, moyenne. Agrégats sans pores visibles. Fortement cimentés, non fragiles. Débris de coquilles. Transition nette ondulée.

85-130cm : Brun grisâtre foncé 10YR 4/2. Taches, brun pâle : 10YR 6/3, 10%, limites peu nettes. Autres taches noires indurées (éléments manganésifères) 10%. Effervescence localisée. Argile lourde. Fragmentaire, peu nette, polyédrique subanguleuse, moyenne. Agrégats sans pore visible, peu cimentés, très collants humide. Débris de coquilles.

130-170cm : Brun : 10YR 5/3. Taches, gris clair, 5%. Argile, cristaux brillants (mica).

170-210cm : Brun pâle : 10YR 6/3. Taches noires, 5-10mm, 10%. Argile.

210-250cm : Brun grisâtre foncé 10YR 4/2. Taches, brun pâle, en forme de nodules calcaire 20% ; effervescence. Argile. Débris pierreux d'activité humaine.

250-290cm : Brun 10YR 5/3. Taches, brun très pâle : 10YR 7/3, 30% nodules, effervescence, fragile. Autres taches noires, 10% Limon argilo-sableux. Débris pierreux d'activité humaine.

290-330cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Taches, gris clair : 10YR 7/1 2-4mm, nodules et accumulations variables, effervescence. Autres taches, brun, limites peu nettes. Argile lourde.

330-370cm : Brun : 10YR 5/3. Taches, brun clair 5%, Autres taches noires 15%. Argile. Débris de coquilles 20%, non cimenté.

370-410cm : Brun grisâtre : 10YR 5/2. Taches, gris clair : 10YR 7/1,  
25%, effervescence. Argile lourde. Débris de coquilles 10%.

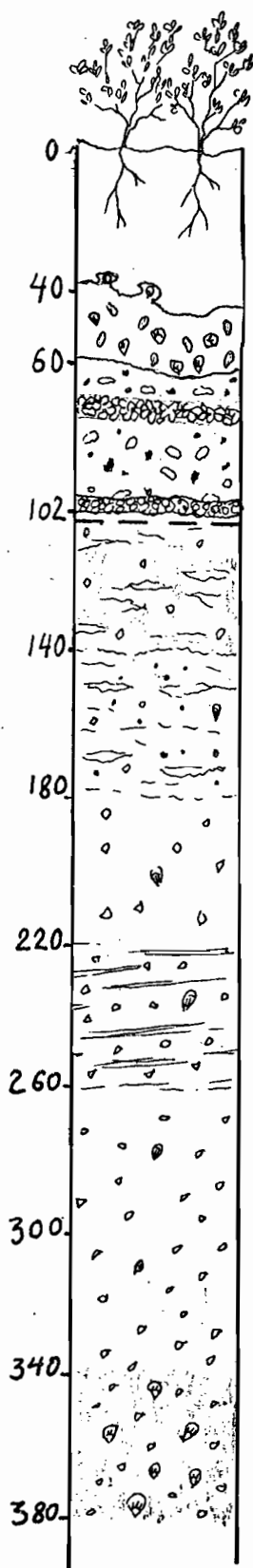
### Profil B3 (Borolos)

Localisation : 4Km au sud du lac Borolos.

Altitude : + 0.20 mètres. La nappe phréatique a 102 cm.

Végétation : Luzerne.

Description du profil :



- 0-40 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Argile lourde. Massive. Agrégats à pores nombreux, fins. Forte cohésion à sec, non fragile. Racines fines moyennes. Transition nette ondulée.
- 40-60 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Taches, brun-jaunâtre 10YR 5/6, 40%. Argile lourde. Massive. Agrégats à pores nombreux tubulaires, fins. Débris de coquilles, 10% transition nette, ondulée.
- 60-102cm : Noir : 10YR 2/1. Taches olive foncé, 30%. Autres taches brun jaunâtre : 10YR 5/4, 30%. Massive. Argile lourde. Deux couches, 10cm d'épaisseur de coquilles.
- 102-140cm : Noir : 10YR 2/1. Matière organique, généralisée 5%. Argile lourde. Quelques débris de coquilles (2%)
- 140-180cm : Gris foncé : 10YR 4/1. Taches, brun jaunâtre : 10YR 5/4 30% limites peu nettes contrastées. Argile limoneuse. Concrétions, éléments ferro-manganésifères, 2mm, 15%. Forte cohésion à sec, non fragile. Quelques débris de coquilles.
- 180-220cm : Gris foncé : 10YR 4/1. Argile limoneuse. Quelques débris de coquilles.
- 220-260cm : Gris foncé : 10YR 4/1. Taches, brun jaunâtre, 20%. Argile limoneuse (limon argileux avec des couches fines d'argile). Débris de coquilles, 10%.
- 260-300cm : Gris foncé : 10YR 4/1. Argile lourde. Quelques débris de coquilles.
- 300-340cm : Gris très foncé : 10YR 3/1. Argile lourde quelques débris de coquilles (7%).
- 340-380cm : Noir : 10YR 2/1. Argile lourde. Débris de coquilles 15%.

Date 13/2/1975

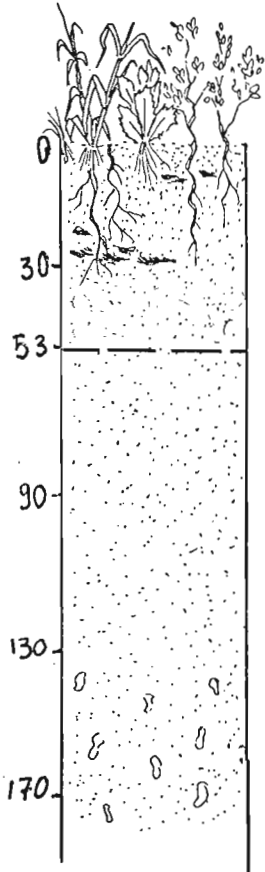
Profil B<sub>2</sub> (Baltim)

Localisation : 200 m. nord lac Borolos et 2 km au sud de la côte

Altitude : + 1,00 mètre. Profondeur de la nappe phréatique 53cm

Végétation : Luzerne avec quelques herbes, graminées et autres.

Description du profil :



0-30 cm : Brun très pâle : 10YR 7/3. Taches noires, sans relation visible avec les autres caractères, 5%, limites très nettes, plus cohérentes, probablement charbon résiduel. Effervescence généralisée. Sable, fin et grossier, quartzeux. Particulaire. Racines fines et grosses, chevelu abondant. Transition très nette, régulière.

30-53 cm : Blanc : 2,5Y 8/2. Vive effervescence généralisée. Sable grossier siliceux et fin calcaire. massive, peu nette, à éclats émoussés, moyenne et fine. Volume des vides très faible entre agrégats, bouillant, Peu cimenté

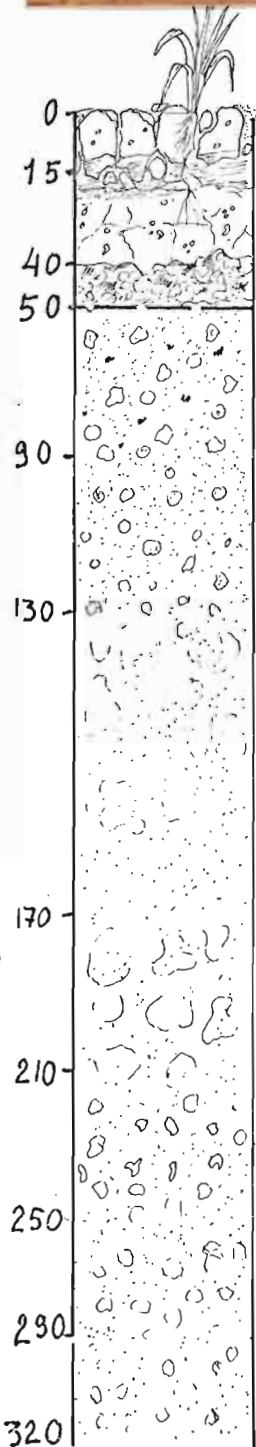
53-130 cm : Blanc : 5Y 8/1. Vive effervescence. Sable siliceux parfois enrobé de calcaire.

130-170 cm : Blanc : 5Y 8/1. Vive effervescence généralisée. Nodules calcaires. Sable siliceux et calcaire.



Profil F. (Ferhach)Localisation : à 45 km à l'ouest de la branche Rosetta.Altitude : + 1,00 mètre    Profondeur de la nappe phréatique : 50cmVégétation : des herbes, surtout graminées

- efflorescence de sels solubles sur la surface.

Description du profil

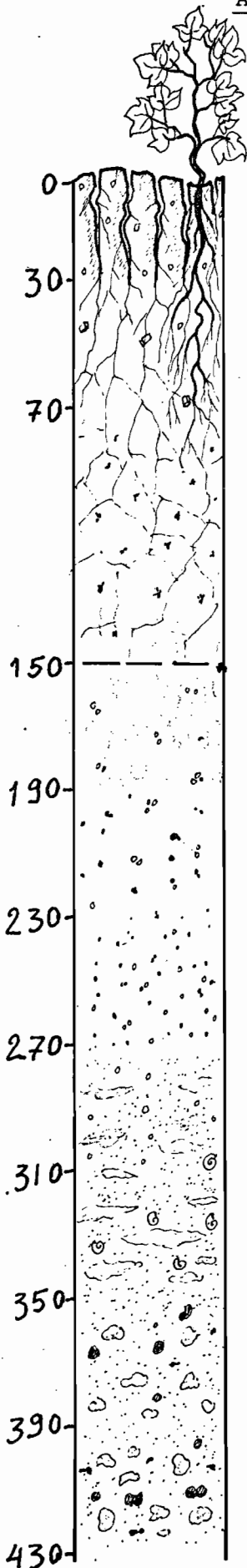
- 0-15 cm : Brun : 10YR 5/3. Taches blanches, d'efflorescences salées, liées aux faces des unités structurales, en traînées verticales, 2-4cm, limites nettes, contrastées. Débris organiques 0,3%. Vive effervescence. Limon argileux, Particulaire en surface (localisé), cubique (localisé), et lamellaire au dessous. Vides entre agrégats très importants, meuble, fentes, 2mm de large, 8cm de distants, agrégats à pores peu nombreux, moyens et larges, racines fines et moyennes, transition nette, ondulée.
- 15-40 cm : Brun : 10YR 5/3. Taches blanches : 10YR 8/2, 15%, 1-2mm limites nettes, contrastées. Débris organiques, 2%. Vive effervescence. Gravier calcaire 2% : Argile lourde. Massive, sans pore visible. Forte cohésion à sec. Quelques racines fines. Transition nette ondulée.
- 40-50 cm : Gris clair : 2,5Y N7/. Taches blanches : 2,5YR 8/1, 40%, limites très nettes, peu contrastées. Autres taches, brun grisâtre foncé, 15%. Vive effervescence. Gravier calcaire 2%. Argile. Polyédrique subanguleuse.
- 50-90 cm : Blanc : 10YR 8/1. Taches, brun grisâtre : 10YR 5/2, 15% nette. Autres taches, gris verdâtre clair : 5,9Y 7/1, 15%, peu nettes peu contrastées. Sable argileux.
- 90-130 cm : Blanc : 2,5Y 8/2. Taches, jaune pâle : 2,5Y 7/4, 5%. Autres taches, gris verdâtre clair : 5,9Y 7/1, 20%, graviers 1%. Sable.
- 130-170 cm : Blanc : 2,5Y 8/2. Sable. Fragile.
- 170-210 cm : Brun pâle : 10YR 6/3. Taches brun très pâle, fragile. Sable argileux.
- 210-250 cm : Gris olive : 5Y 5/2. Taches blanches : 2,5Y 8/2, 20% (concrétions calcaires) nettes contrastées. Autres taches, brun olivâtre clair 2,5Y 5/2, 30%. Limon sablo-argileux.

250-290 cm : Gris brunâtre clair : 2,5Y 6/2. Taches, blanc :  
2,5Y 8/2, 10%, peu nettes. Sable argileux.

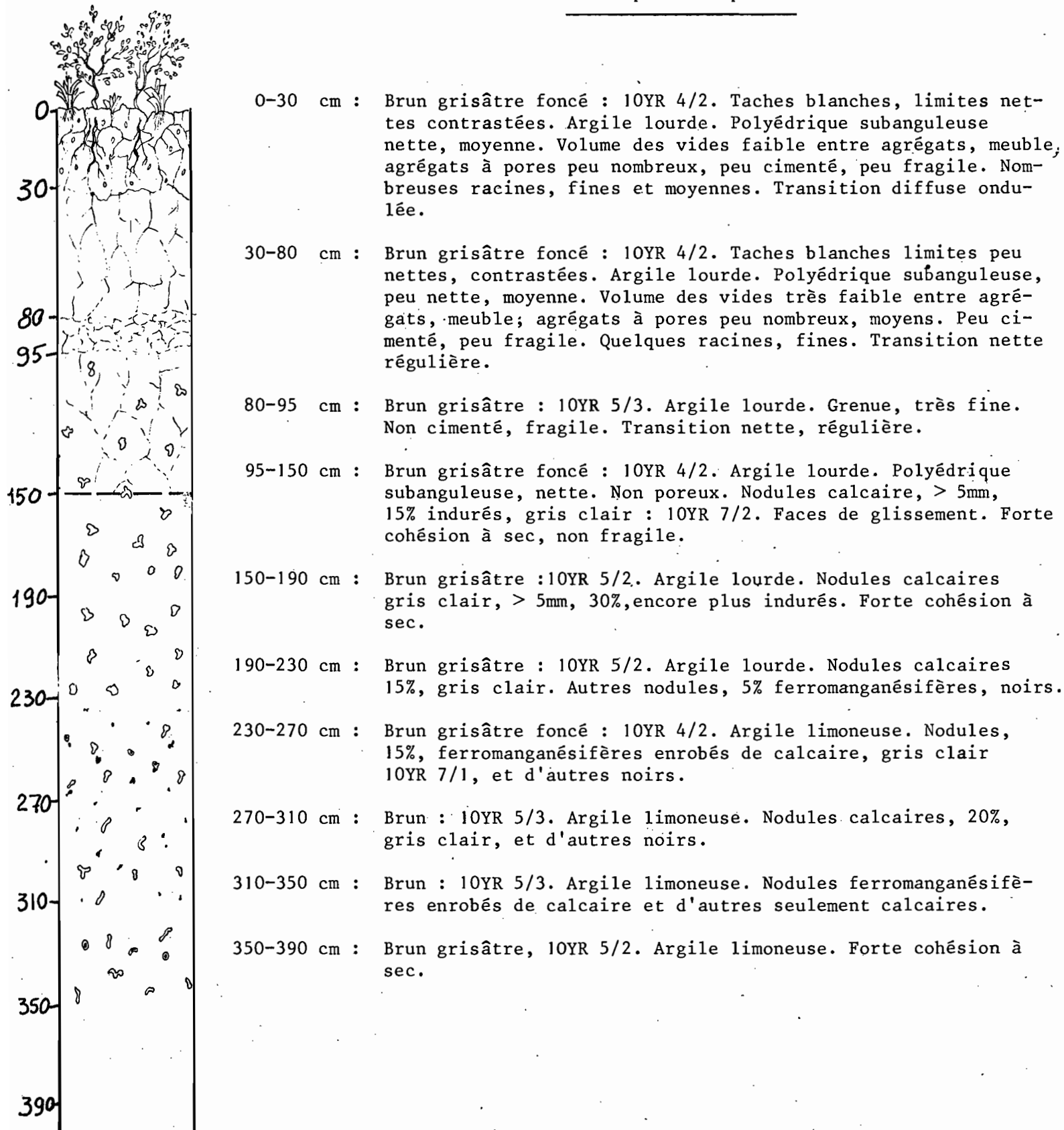
290-320 cm : Gris clair : 2,5Y 7/2. Taches, gris brunâtre clair :  
2,5Y 6/2 : 10%, peu nettes peu contrastées. Sable.

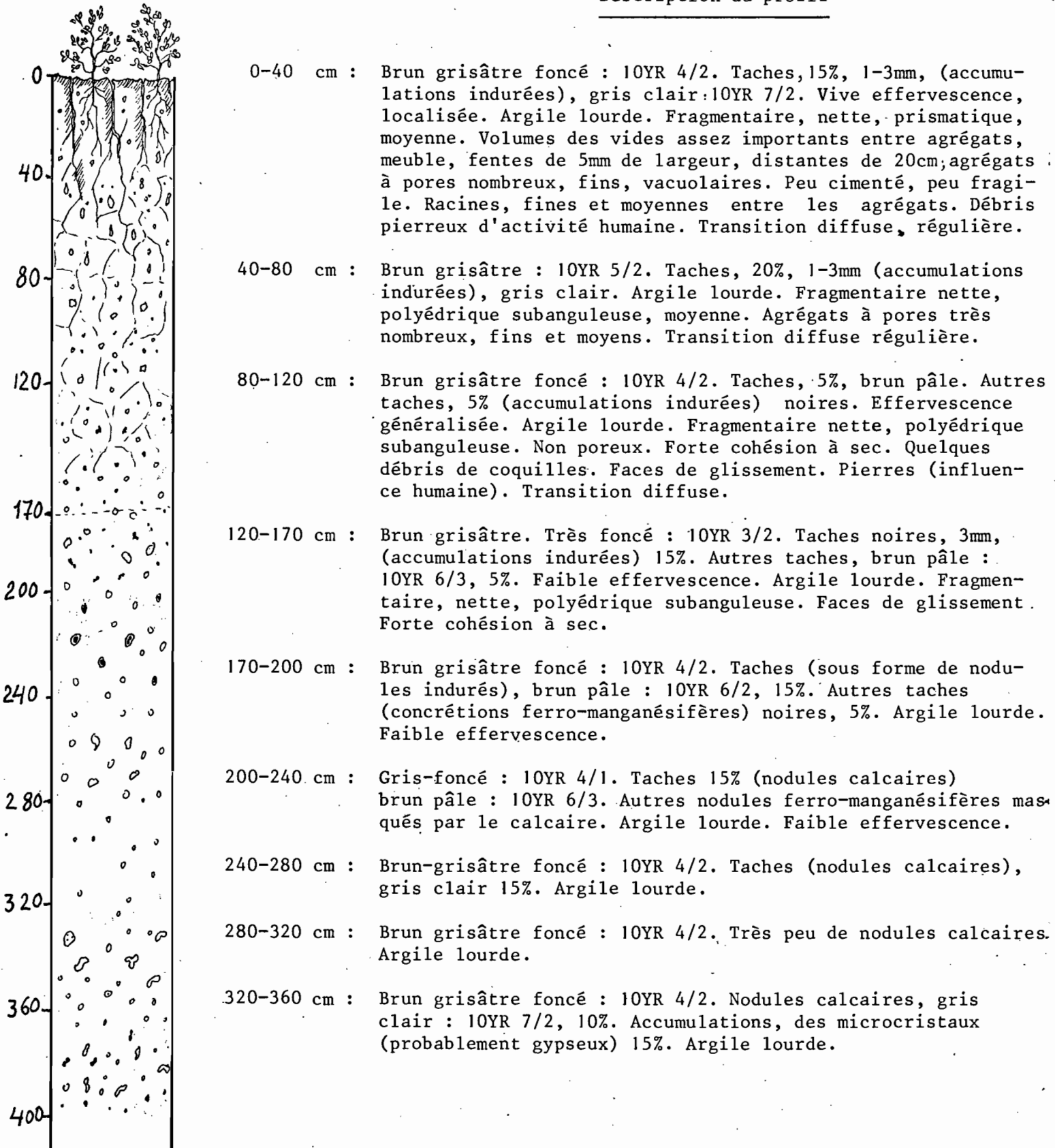
Profil EB (Etay elbaroud)Localisation : 15 km à l'Ouest de la Branche Rozetta.Altitude : 14,70 mètres. Profondeur de la nappe phréatique : 150cm.

Végétation : cultivé en coton.

Description du profil

- 0-30 cm : Brun foncé : 7,5YR 4/2, teneur en matière organique voisine de 3%. Effervescence localisée Teneur approximative en éléments grossiers 10% graviers. Argile lourde. Fragmentaire très nette, prismatique en colonnes, très grossière. Vides très importants entre agrégats, meuble, fentes 4cm de longueur, distantes de 30cm agrégats à pores très nombreux, moyens et larges tubulaire, horizontaux. Forte cohésion à sec non fragile, nombreuses racines, grosses et fines, revêtant les faces des agrégats. Débris pierreux (4mm) d'activité humaine, trous d'insectes. Transition diffuse régulière.
- 30-70 cm : Brun : 7,5YR 4/2. Effervescence localisée. Argile lourde. Polyédrique subanguleuse nette, grossière. Vides assez importants entre agrégats, meuble, fentes, de 1cm de largeur, distantes de 20cm, agrégats à pores peu nombreux, fins. Forte cohésion à sec, non fragile. Quelques racines, fines. Débris pierreux (4cm) d'activité humaine. Transition diffusé, régulière.
- 70-150 cm : Brun foncé : 7,5YR 3/2. Débris organiques, teneur en matière organique voisine de 1%. Effervescence généralisée. Argile lourde. Polyédrique subanguleuse, nette, grossière. Vides faibles entre agrégats, agrégats sans pore visible. Forte cohésion à sec, très plastique, non fragile. Concrétions dures d'éléments ferromagnésifères.
- 150-190 cm : Brun grisâtre très foncé : 10YR 3/2 taches blanches, 1mm, 2%. Argile lourde. Débris pierreux d'activité humaine.
- 190-230 cm : Brun : 10YR 3/2. Taches blanches, 1mm, 5%. Argile lourde. Concrétions dures d'éléments ferromagnésifères.
- 230-270 cm : Brun : 10YR 4/3. Taches blanches, 1mm., dures. Argile limoneuse. Concrétions dures d'éléments ferromagnésifères.
- 270-310 cm : Brun 10YR 5/3. Taches blanches, 1mm, nettes, contrastées. Argile limoneuse, matériau limoneux avec des couches d'argile et de limon fin, brun grisâtre foncé : 10YR 4/2.
- 310-350 cm : Brun : 10YR 5/3. Peu de taches blanches. Argile, avec des couches limoneuses. Débris de coquilles.
- 350-390 cm : Brun : 10YR 5/3. Taches, brun jaunâtre foncé : 5YR 4/4, d'éléments ferrugineux, peu nettes, contrastées. Autres taches noires, peu nettes, peu contrastées. Limon sablo-argileux.
- 390-430 cm : Brun : 10YR 5/3. Taches, brun jaunâtre foncé : 5YR 4/4. Autres taches, brun grisâtre foncé : 10YR 3/2. Limon sablo-argileux.

Profil B4 (Basioun)Localisation : à 5 km à l'est de la branche Rosetta.Altitude : + 6 mètres. La nappe phréatique à 1,50 mètre de profondeurVégétation : LuzerneDescription du profil

Profil S1 (Sembellawen)Localisation : à 15 km à l'est de la branche DumettaAltitude : 5,30 mètres. La nappe phréatique est au dessous de 4 mètres de profondeur.Végétation : LuzerneDescription du profil

360-400 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Nodules calcaires 30%,  
gris-clair : 10YR 7/2. Autres nodules noirs indurés,  
2-4mm, 10%. Argile lourde.

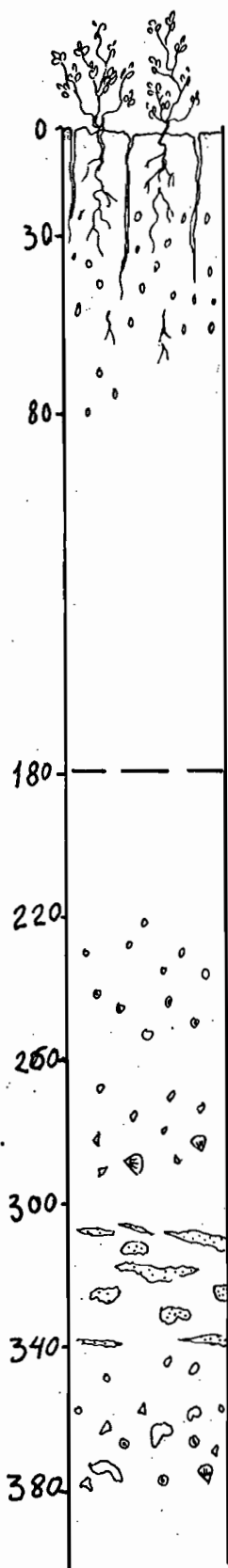
Profil G1 (Gezirat El Faras)

Localisation : à 40 km à l'est de la branche Dumetta.

Altitude : + 1,30 mètre. La nappe phréatique à 180cm de profondeur

Végétation : Luzerne

Description du profil



- 0-30 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Taches blanches. Vive effervescence. Débris organiques, 3% M.O. Argile lourde. Massive, peu nette. Fentes de 0,5cm de largeur, distantes de 30cm. Racines fines et moyennes. Débris pierreux (5%) d'activité humaine. Transition graduelle.
- 30-80 cm : Gris foncé : 10YR 4/1 . Taches blanc. Argile lourde. Fragmentaire, peu nette, polyédrique subanguleuse. Pores peu nombreux moyens. Quelques racines.
- 80-180 cm : Gris : 10YR 5/1. Vive effervescence. Argile lourde. Faces de glissement. Non poreux. Peu fragile.
- 180-220 cm : Gris : 10YR 5/1. Vive effervescence. Argile lourde. Fortement cimenté.
- 220-260 cm : Gris : 10YR 5/1. Vive effervescence . Argile lourde. Nodules 10%, gris clair : 10YR 7/1, éléments ferro-manganésifères enrobés de calcaire. Quelques graviers.
- 260-300 cm : Gris : 10GY 5/1. Vive effervescence. Argile lourde. Débris de coquilles.
- 300-340 cm : Gris foncé 10YR 4/1. Faible effervescence. Argile lourde Accumulation de microcristaux gypseux, 30%, blanc : 10YR 8/1. net. Non cimenté.
- 340-380 cm : Gris foncé : 10YR 4/1. Vive effervescence, localisée. Argile lourde. Nodules 20%, gris : 10YR 6/1, nets indurés, ferro-manganésifère, enrobés de calcaire. Débris de coquilles.

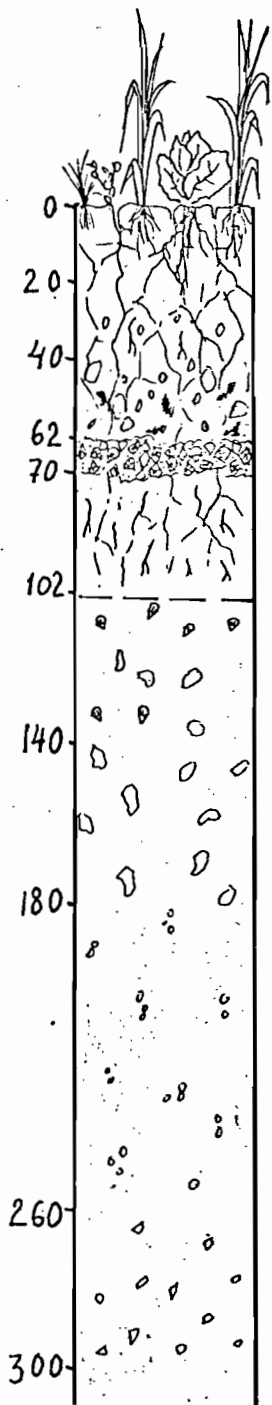
Profil B<sub>1</sub> (Bûsili)

Localisation : à 6 km de la branche Rosetta et 5 km du lac Idco.

Altitude : + 0,5 mètre. La nappe phréatique est à 102 cm de profondeur.

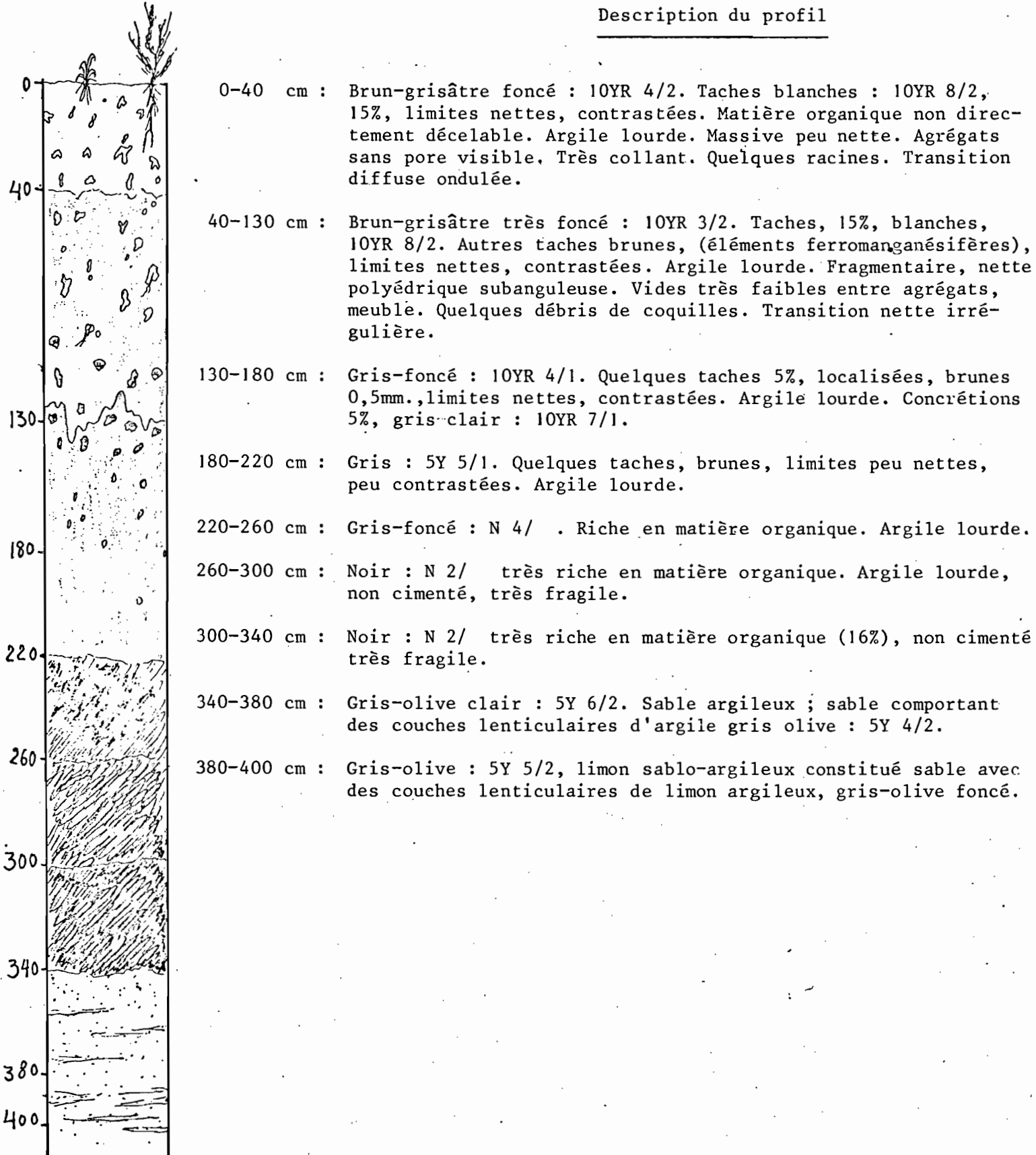
Végétation : Blé.

Description du profil :



- 0-20 cm : Brun pâle : 10YR 6/3. Argile limoneuse. Fragmentaire, très nette, prismatique, grossière. Volumes des vides assez importants entre agrégats, meuble, fentes, 2mm de largeur, distantes de 10cm, agrégats à pores peu nombreux fins. Faces de glissement. Peu cimenté, peu fragile. Nombreuses racines. Transition diffuse, régulière.
- 20-40 cm : Brun 10YR 5/3. Taches, 20%, blanches 10YR 8/2, limites nettes, contrastées. Argile lourde. Fragmentaire très nette, polyédrique subanguleuse, grossière. Volumes des vides très faibles entre agrégats meubles, agrégats à pores peu nombreux fins. Faces de glissement. Peu cimenté, peu fragile. Transition graduelle, régulière.
- 40-62 cm : Brun grisâtre : 10YR 5/2. Taches brun jaunâtre (pseudogleyfication). Autres taches noires ou brun très pâle : 10YR 7/3 (5%). Argile lourde. Fragmentaire peu nette, polyédrique, grossière. Agrégat à pores nombreux fins et moyens. Peu cimenté, peu fragile. Transition très nette, régulière.
- 62-70 cm : Brun: 10YR 5/3. Sable et débris de coquilles. Transition très nette.
- 70-102 cm : Brun : 10YR 5/3. Taches brun foncé, (débris de racines), limites nettes, contrastées. Limon argileux. Fragmentaire, grenue, nette. Pores nombreux, moyens. Non cimenté.
- 102-140 cm : Brun grisâtre : 10YR 5/2. Taches 2-5mm, 10%, brun jaunâtre clair, limites nettes, contrastées. Limon argileux. Débris de coquilles.
- 140-180 cm : Brun-grisâtre : 10YR 5/2. Taches, 10-20mm, 30%, brun jaunâtre clair, limites nettes, contrastées. Limon argileux.
- 180-260 cm : Gris-foncé : 10YR 4/1. Taches, 5%, gris brunâtre clair : 10YR 6/2, limites nettes, contrastées. Argile limoneuse.

260-300 cm : Gris-foncé : 10YR 4/1. Taches, 2%, gris brunâtre  
clair : 10YR 6/2, limites nettes, contrastées. Argi-  
le limoneuse. Débris de coquilles.

Profil Sh (Shalma)Localisation : à 2 km au sud du lac Borolos.Altitude : 0,0 mètre. La nappe phréatique est au dessous de 4 mètres de profondeur.Végétation : Luzerne à faible production et quelques herbes, graminées et plantes typiques de sols salés.Description du profil

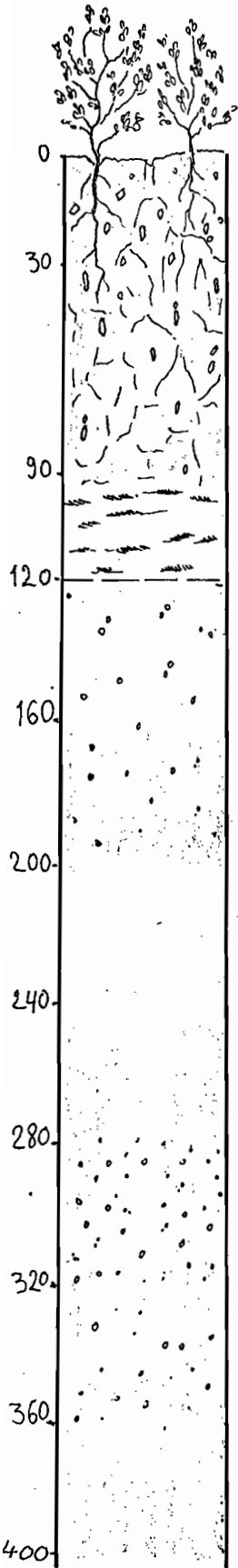
Profil KS (Kafr el Shekh) :

Localisation : à 35 km au sud du lac Borolos.

Altitude : + 4,8 mètres      Profondeur de la nappe phréatique : 120cm

Végétation : Luzerne.

Description du profil



- 0-30 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Taches blanches : 10YR 8/2, 10%, limites nettes, contrastées. Argile lourde. Fragmentaire, polyédrique subanguleuse, nombreuses racines, fines et moyennes. Pierres, 2% (influence humaine). Transition diffuse.
- 30-90 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Taches, 10%, blanches: 10YR 8/2, limites peu nettes, contrastées. Argile lourde. Fragmentaire, polyédrique subanguleuse. Quelques racines fines et moyennes, transition diffuse.
- 90-120 cm : Brun 10YR 5/3. Taches noires (matière organique calcinée), limites nettes, contrastées. Limon argilo-sableux (limon sableux avec des stratifications lamellaires d'argile). Fragile.
- 120-160 cm : Brun 10YR 5/3. Quelques taches blanches, (0,2mm), limites peu nettes, peu contrastées. Limon argilo-sableux.
- 160-200 cm : Brun grisâtre foncé 10YR 4/2. Taches 5% noires (0,5mm) ferromanganésifères. Argile limoneuse. Fragile.
- 200-240 cm : Brun grisâtre : 10YR 5/2. Argile limoneuse. Forte cohésion à sec, non fragile.
- 240-280 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Argile lourde. Forte cohésion à sec, non fragile.
- 280-320 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Argile lourde. Concrétions 5%, blanches indurées. Forte cohésion à sec, non fragile
- 320-360 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 3/2. Argile lourde concrétions 5%, blanches indurées. Forte cohésion à sec, non fragile.
- 360-400 cm : Brun grisâtre foncé : 10YR 4/2. Argile lourde

## 11.2. MICROMORPHOLOGIE.

Nous avons effectué l'étude micromorphologique des différentes couches au-dessus de la nappe phréatique des 16 profils de sols du delta que nous avons prélevés.

Nous avons examiné au microscope optique cinquante cinq lames minces d'échantillons non perturbés.

Les pages suivantes présentent la description de la répartition des éléments ainsi que leur représentation schématiquement, soit sans grossissement, soit avec grossissement de 30 fois ; et des photos correspondant sous grossissement de 50 à 800 fois.

### DESCRIPTION MICROMORPHOLOGIQUE DES PROFILS ETUDIÉS.

Les graphiques et les photos de chaque profil sont assemblés et expliqués d'une façon très brève sur les pages suivantes .

Profil K<sub>1</sub>

- 0-20 cm : L'assemblage du matériau est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau basique, on observe deux types de fond matriciel pédique ; le premier est riche en argile ; plasma à assemblage argilasépique. Le deuxième est riche en sable fin quartzeux ; plasma à assemblage faible à omnisépique. La matière organique est sous forme de résidus humifiés, distribués dans le fond matriciel, ainsi que de quasiorgananes et de néoorgananes autour des vides. Les vides sont de type orthique, irréguliers et elliptiques dans la partie riche en sable fin et des fentes-méta de pression lisses dans l'autre partie. Des chambres larges, irrégulières se trouvent l'ensemble du matériau. Quelques chenaux existent aussi. Des traits sub-cutaniques tels que néocalcitanes épais et quasiorgananes sont fréquemment associés aux parois des vides. Des isotubules-méta séparés ou associés aux chenaux sont également observés, ainsi que des isotubules riches en sable fin dont l'ensemble est porphyrosquelique. Les pédotubules sont en général riches en néocalcitanes. Des calcitanes fins sont aussi communs. Les proportions des divers éléments sont dans les parties riches en argile plasma >> vides > squelette, et dans les autres parties : squelette = plasma = vides.
- 20-45 et  
45-75 cm : L'assemblage d'ensemble est granulaire. L'organisation est de niveau basique. Le plasma est très rare, toujours sous forme de traits pédologiques. Le squelette est constitué de sable fin et de limon dont les grains sont anguleux et parfois prismatiques. La composition minéralogique indique l'ordre suivant : quartz > amphiboles et pyroxines > micas > opaques. La matière organique est ou forme de résidus n'ont pas décomposés et fréquemment dans les vides. Le fond matriciel est très poreux. Les vides sont du type d'entassement simple, ou de chambres irrégulières et larges. Par ailleurs des ortho-cavités sphériques à oblongues sont observées dans la couche de 45-75 cm. Quelques nodules calcaires enrobés de sesquioxides existent. La proportion de l'assemblage est dans l'ordre : squelette > vides >>> plasma.
- 75-120 cm : L'assemblage global est granulaire. L'organisation est de nouveau basique. Le plasma est très rare et constitue en ciment entre les grains du squelette. Un peu de matière organique décomposée est liée à l'ensemble du squelette finement sableux ou limoneux dont les éléments sont dans l'ordre quartz > biotite > amphiboles et pyroxène = éléments opaques. Les grains se présentent sous forme anguleuse, parfois prismatique. Les vides appartiennent au type d'entassement simple. Quelques vésicules et chambres larges sphériques à oblongues y existent aussi. Des cutanes de type calcitanes épais sont associés à quelques vésicules. La proportion de l'assemblage est estimée comme suit : squelette > vides >>> plasma.
- 120-170 cm : L'assemblage de l'ensemble est granulaire. Le fond matriciel est apédique.  
et  
170-220 cm : L'organisation est de niveau basique. Il n'y a pratiquement pas de plasma ni de matière organique.  
Le squelette est relativement homogène dans son ensemble constitué par du sable grossier et du sable fin régulier ou irrégulier, arrondi, émoussé ou anguleux. Le quartz est dominant, puis viennent biotite, feldspaths (plagioclase), microcline, amphiboles (hornblende) et pyroxine (augite). Les vides sont de type d'entassement simple. Quelques nodules calcaires moyens et émoussés et quelques autres opaques (sesquioxides) irréguliers existent.

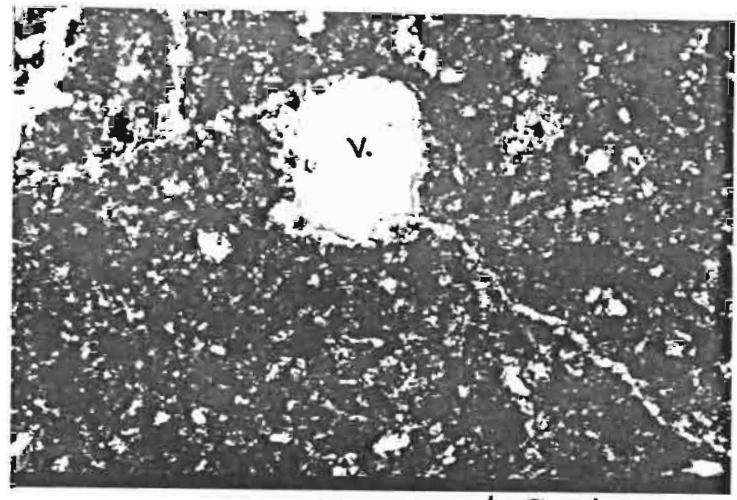
Profil: K<sub>1</sub>



0-20 cm.



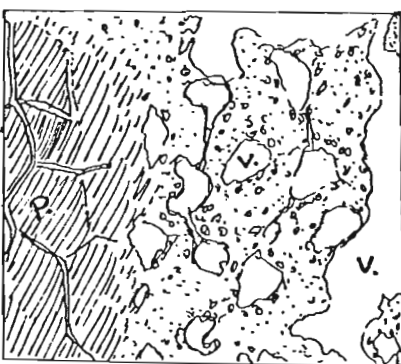
30X



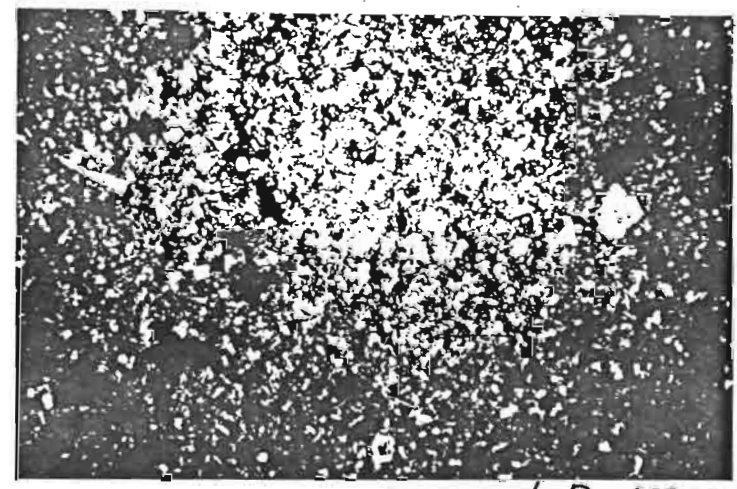
L.P. - 125X



20-45 cm.



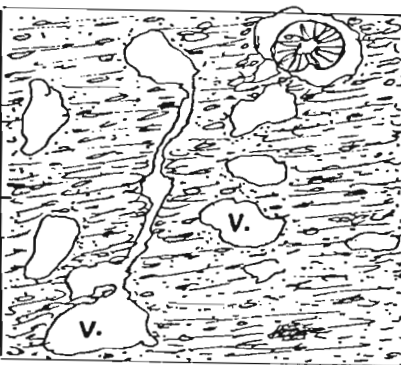
30X



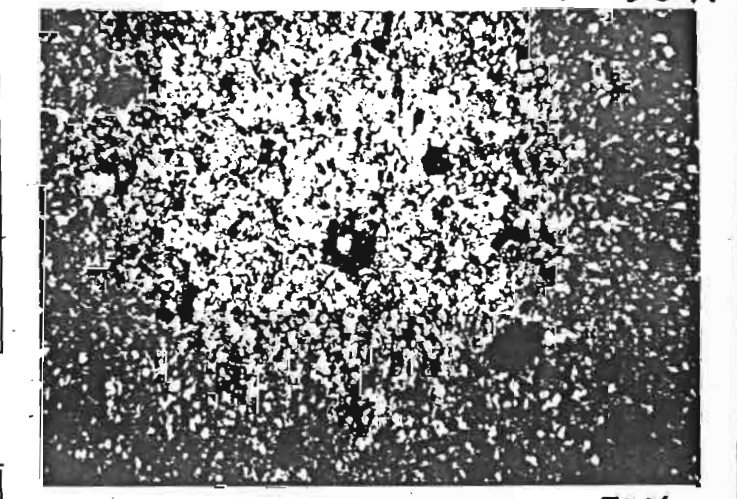
L.P. - 50X



45-75 cm.



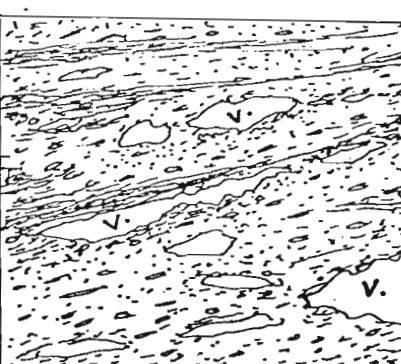
30X



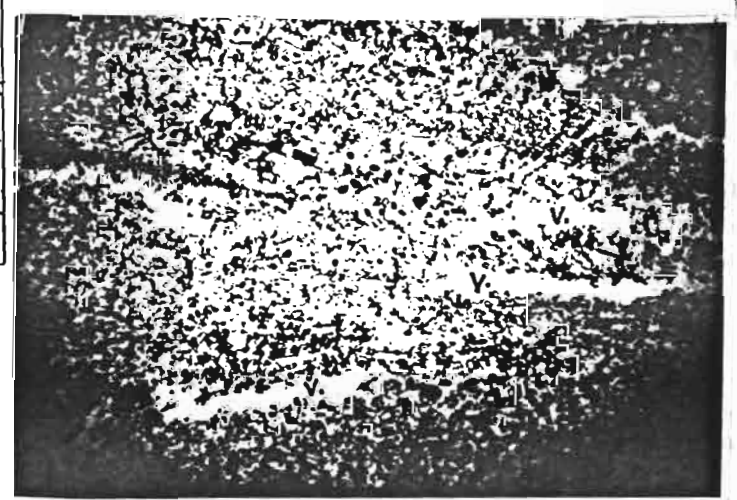
L.P. - 50X



75-120 cm.



30X



L.N - 50X

## Profil K

0-30 cm : Le plasma est argilosepique dominant avec quelques zones très limitées omniseipiques, vosepiques ou squelsepiques. Parmi les vides dominant des cavités-méta larges, sphériques et réguliers contenant souvent du sable grossier quartzeux arrondi. Du sable fin angleux et du limon (quartz et augite) existent dans les vides et dans le plasma. Dans ce dernier se trouvent aussi quelques nodules de forme sphérique à ellipsoïdale, soit de calcaire, soit de calcaire et de sesquioxides. Des argilanes enrobant le squelette (type vo-squel) épaisses non continues mais fortement orientées, sont fréquentes. Les proportions entre les divers éléments sont : squelette = plasma > vides ; avec une distribution relative intertextique et des peds assez rares mais larges, polyédriques.

30-80cm et : Le plasma argilasepique, à taches ferrugineuses est dominant avec de rares zones omniseipiques.  
80-115 cm

Des cavités moyennes et oblongues sont visibles ainsi que des chambres et des chenaux isolés irréguliers. Des pédotubules du type granotubules (métatubules) composés de grains de sable quartzeux grossiers bien émoussés sont entourés par des argilanes (surtout dans la lame K 30-80 cm) ; le squelette contient aussi du sable fin et du limon (quartz, biotite, amphiboles et rutile). Des nodules calcaires sphériques, nets paraissant de néoformation et contenant souvent des vides et des cutanes internes sont fréquents ; il existe aussi d'autres nodules sesquioxidiques noirs et fins. Dans la lame K<sub>1</sub> 80-115 cm, les nodules orthiques calcaires sont irréguliers et souvent à bords diffus ; les pédotubules n'existent pas ; quelques grains de sable grossiers sont distribués au hasard dans le fond matriciel.

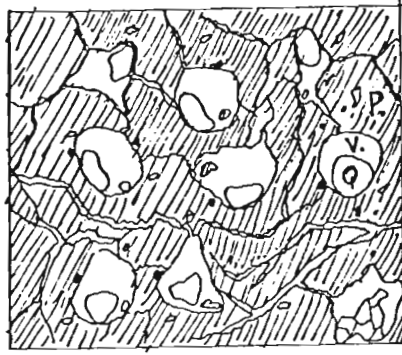
Entre les divers éléments les proportions sont : plasma > squelette = vides ; la distribution relative est porphyrosquelique.

115-180 cm L'ensemble du matériau est apédique. Le plasma présente un assemblage omniseipique faible à moyen et parfois, silasépique argilasépique en quelques places le milei est marqué par des taches ferrugineuses. Des chenaux moyens dendroïtes irrégulières, des cavités moyennes à petites irrégulières et des chambres larges irrégulières sont fréquentes. Des cristaux de gypse rhombiques en grappes avec quelques cristaux de calcite bien développés existent dans les vides, surtout dans les chambres. Quelques striotubules arrondis à elliptiques et irréguliers sont observés, ainsi que des nodules calcaires, orthiques, larges, à bord diffus et quelques autres sesquioxidiques noirs arrondis. Les proportions entre les divers éléments sont : plasma > vides > skelette. Le squelette consiste en sable fin et en limon (quartz > biotite > rutile > amphiboles.)

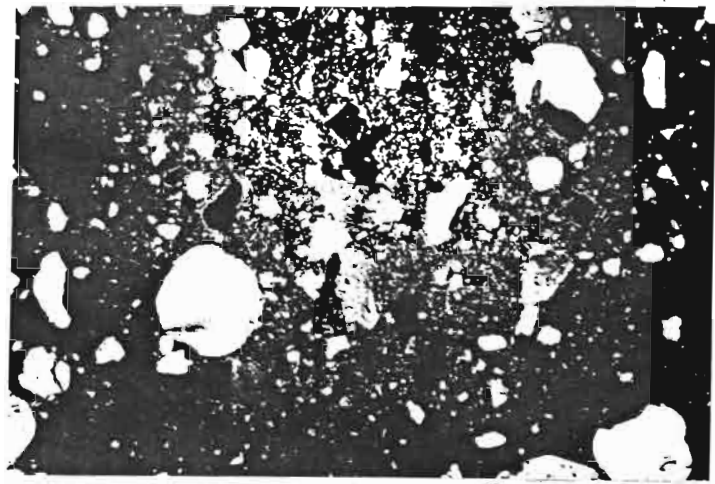
Profil. K.



0-30 cm



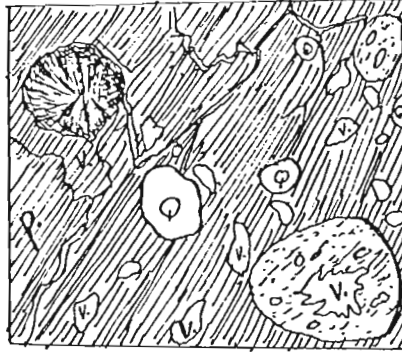
30X



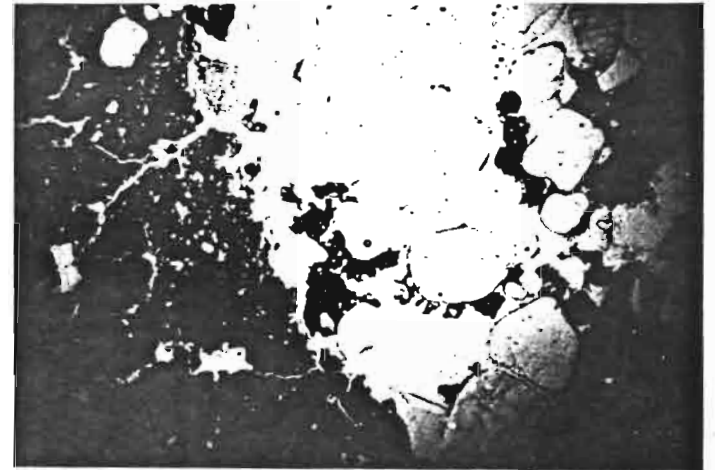
L.P.-50X



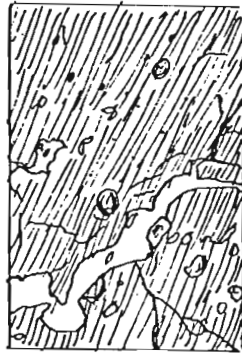
30-80 cm.



30X



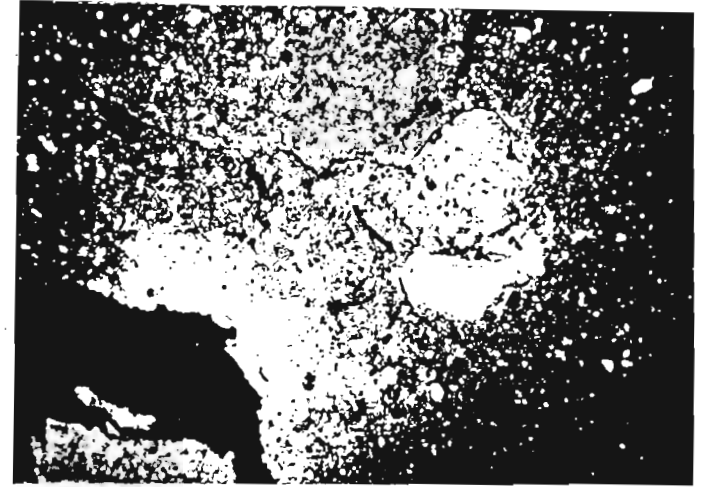
L.P.-50X



80-115 cm



30X



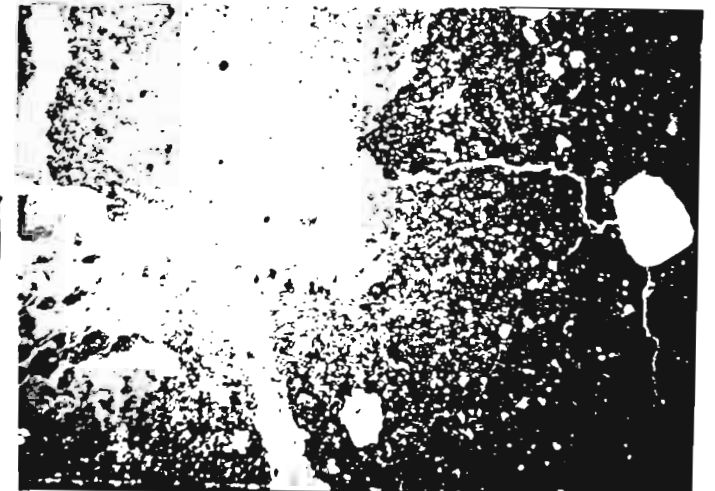
L.P.-50X



115-180 cm.



30X



L.P. 50X

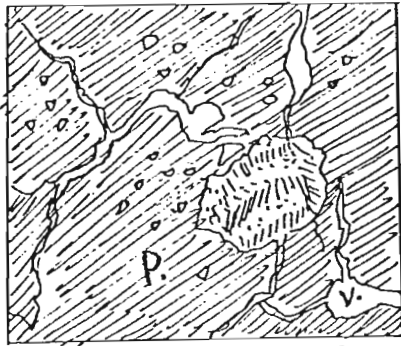
## Profil G

- 0-35 cm : L'assemblage du matériau est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau primaire. Le plasma est argilasépique. Les vides sont du type interpédique sous forme de fissures, des vides d'entassement et des cavités elliptiques petites à moyennes. On observe aussi quelques nodules calcaires arrondis, d'autres d'oxyde de fer elliptiques et d'autres encore moins fins de sesquioxydes opaques ont été observés. Le squelette consiste de sables fins et de limons, quartz, amphiboles, biotite et rutile ; les grains sont anguleux. Les proportions entre les divers éléments sont: plasma = squelette = vides.
- 35-90 cm : L'assemblage du matériau sans apparition de peds est aggloméroplastique parfois porphyrosquelique ou granuleux. Le plasma forme un ciment entre les grains du squelette, avec quelques parties isolées riches en argile et à assemblage omnisépique-argilosépique. Des débris organiques brun-foncé humifiés se trouvent fréquemment dans le fond matriciel, avec quelques racines non décomposées dans les vides. Les vides sont sous forme de chambres irrégulières, certaines longues et très larges, d'autres larges et moyennes ; des cavités lisses longues et d'autres petites et arrondies ; ainsi que des vides fins d'entassement simple. Des nodules brun foncé orthiques, fins, en grappes d'oxydes de fer s'observent, ainsi que d'autres de calcaire et quelques taches ferrugineuses arrondies. Des isotubules-méta moyen lisses ou irréguliers, nets ou à bords diffus arrondis ou , existent, de même que des agrotubules-méta. Les proportions entre les divers éléments sont : squelette > plasma = vides. Le squelette consiste en sable fin et en limon ; les divers minéraux qui s'y trouvent sont dans l'ordre : quartz > augite et hornblende > biotite > plagioclases > rutile. Les formes dominantes sont anguleuses et prismatiques. Des grains arrondis de minéraux opaques noirs d'oxyde de fer se trouvent dans le squelette.
- 90-150 cm : L'assemblage matériau, qui présente des peds larges ovales et anguleux, est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau secondaire et parfois tertiaire. Le plasma est silasépique-argilasépique à quelques zones de in-ma-vosépique avec une orientation forte ou moyenne et des limites diffuses. Le matériau est faiblement poreux. Il contient des méta-fissures fines du type interpédique, des méta-chenaux moyens ou larges, quelques chambres interpédiques irrégulières, et de petites cavités arrondies. Des nodules calcaires probablement de néoformation moyens ou larges, parfois transpédiques orthiques et d'autres de sesquioxydes fins, noirs, sont fréquents. On observe fréquemment des traits sous forme de néo-et quasi-cutanes de sesquioxydes noirs non continus, parfois associés aux parois des vides. Les proportions des divers éléments sont dans l'ordre : Plasma > vides > squelette.
- 150-180 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau basique à primaire. Le plasma a un assemblage argilasépique dominant parfois omnisépique faible. Quelques racines frumifiées très foncées apparaissent liées aux parois des cavités. Les vides sont principalement constitués de chenaux isolés irréguliers et des chambres, larges à moyennes irrégulières sont dominantes. Des méta-cavités larges à moyennes oblongues ou arrondies et quelques "bulles" peuvent aussi être observées. Des fentes-méta de glissement et des fissures fines sont communes. Des nodules brun-foncé irréguliers à bord diffus d'oxyde de fer accompagnés de taches dans le fond matriciel et autour des vides sont l'expression de processus de gley. Les proportions dans les divers éléments sont : Plasma > vides > squelette.

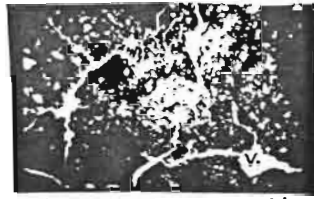
17041 G.



0-35 cm.



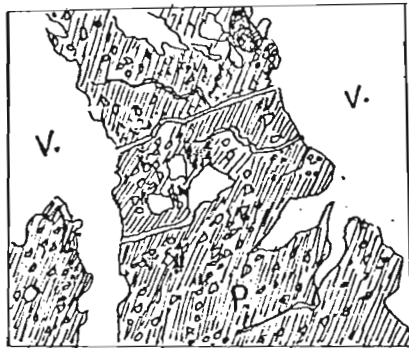
30X



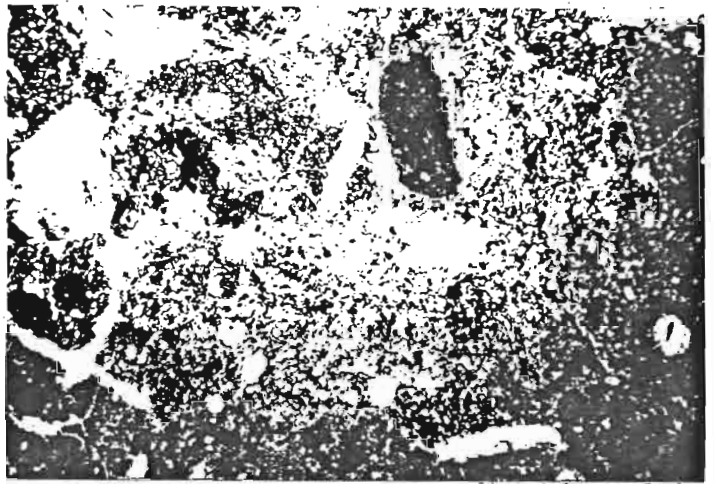
L.N. - 20X.



35-90 cm.



30X



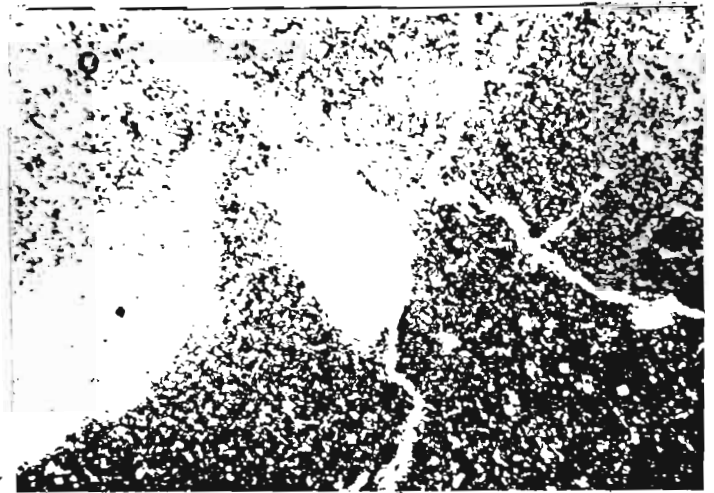
L.N.-50X



90-150 cm.



30X



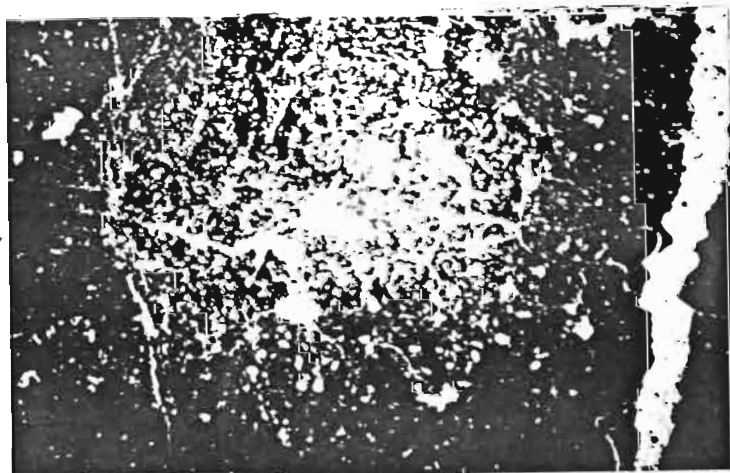
L.P. - 50X



150-180 cm.



30X



L.N.-50X

## Profil S

0-20 cm : L'ensemble du matériau qui ne présente pas de peds a un assemblage porphyrosquelique. L'organisation est de niveau basique. Le plasma est de type argilasépique dominant avec quelques places de type omnisépique. Quelques résidus organiques plus ou moins décomposés se trouvent dans le fond matriciel et les vides. Parmi les vides dominant des chenaux orthiques larges et irréguliers et des cavités arrondies moyennes à fines ; des chambres larges et irrégulières et des "bulles" oblongues et larges sont plus rares. Des nodules calcaires orthiques nets, moyens à larges, arrondis à elliptiques ou arrondis sont fréquents ; certains d'entre eux contiennent des éléments sesquioxydiques à leur intérieur. Quelques nodules sesquioxydiques, brun foncé à noirs, elliptiques contiennent des grains de squelette interne. Les proportions des divers éléments sont : Plasma > vides > squelette. Le squelette consiste en sables fins et en limons angulaires, quartz, amphiboles, plagioclases et un peu de biotite.

50-85 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau primaire. Le plasma est du type argilasépique. On observe des cavité-méta interpédiques moyennes arrondies ; des chambres irrégulières moyennes et d'autres larges ; des chenaux interpédiques irréguliers et des vides d'entassement. La porosité interpédique est beaucoup plus importante que l'intrapédique. Des nodules calcaires probzblmrrnt formés en pl larges à moyens, elliptiques dont certains contiennent des cutanes sesquioxydiques minces existent en position inter et intra pédique. Quelques taches sesquioxydiques se trouvent sur les parois à l'intérieur des vides ou associées au squelette. Les proportions entre les trois éléments sont dans l'ordre: Plasma > Vides > Squelette. Les peds sont larges, brun-foncé polyédriques anguleux à sub anguleux poreux ; leurs faces sont lisses. Le squelette consiste de sable fin et de limon anguleux : quartz, rutile et amphiboles. Ces dernières se trouvent dans la fraction la plus fine.

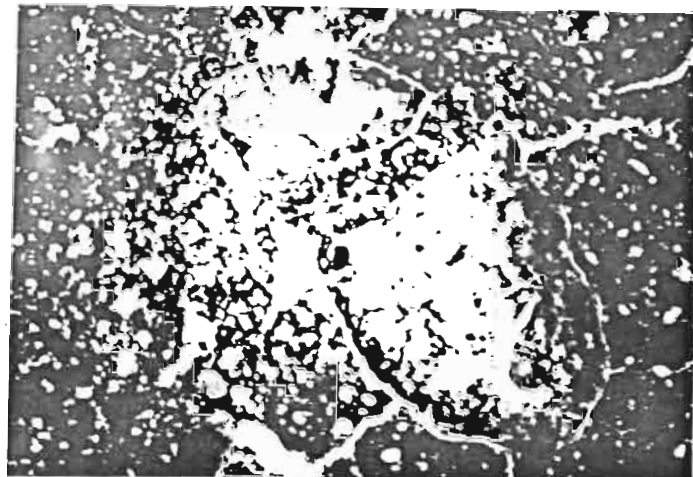
85-130 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau secondaire. Le plasma est du type argilasépique avec quelques parties insépiques. On observe des chenaux interpédiques larges branchés irréguliers, et des fentes ainsi que des méta-cavités intrapédiques lisses irrégulières oblongues à arrondies. Des nodules composés de calcaire et de sesquioxydes, larges à moyens sub arrondis à oblongs ainsi que d'autres, sesquioxydiques noirs, sont fréquents. Quelques néostraines épais et larges sont observés. Le squelette de sable fin et de limon consiste de quartz, amphiboles, rutile et biotite. Les proportions entre les trois éléments sont : Plasma > Vides > Squelette. La pédalité est de type pédique à peds secondaires larges elliptiques polyédriques subanguleux. Chaque ped est composé de 3 à 5 peds primaires assemblés.



0-20 cm.



30X



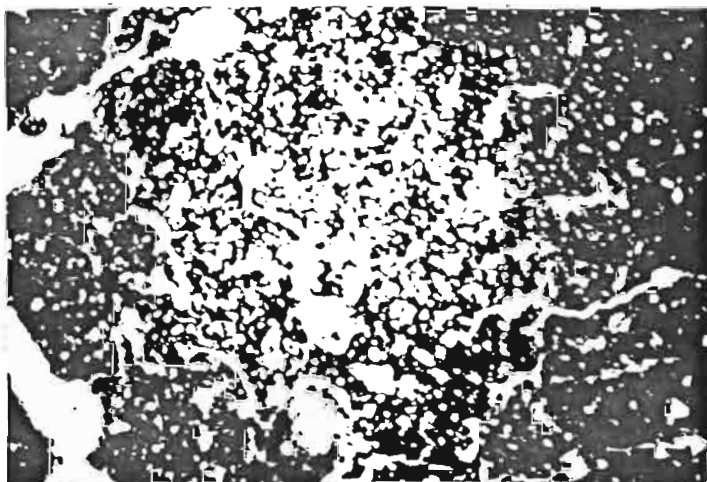
L.N. - 50X



20-50 cm.



30X



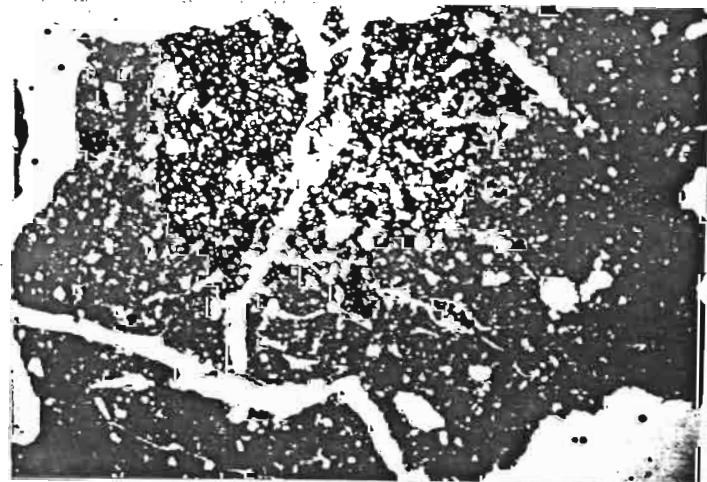
L.N - 50X



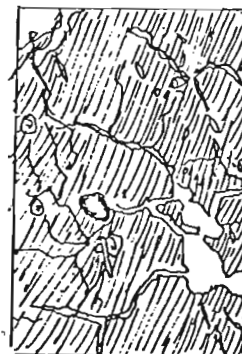
50 - 85 cm.



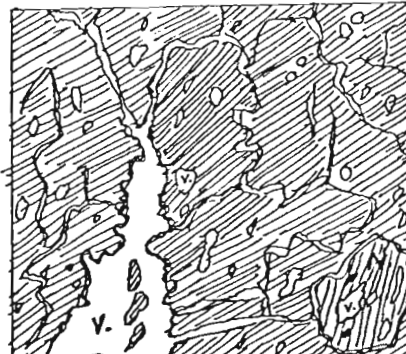
30X



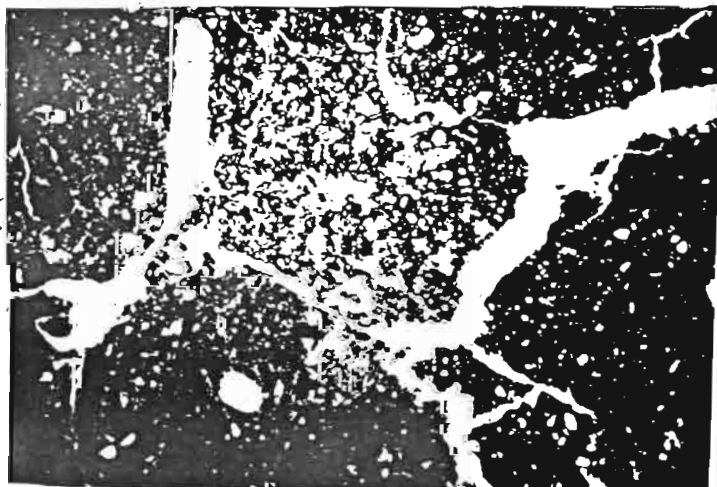
L.N-50X



85 - 130 cm.



30X



L.N-50X

## Profil B

- 0-20 cm : L'assemblage du matériau est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau primaire. Le plasma est de type omnisépique très faible avec quelques zones sillasépiques-argillasépiques. Quelques résidus végétaux peu décomposés apparaissent plus ou moins liés au matériau alluvial ou dispersés dans les vides. Quelques chenaux interpédiques larges irréguliers ainsi que quelques fentes et des cavités fines intrapédiques sont communs. On observe des cristaux de gypse bien développés le long des parois des vides, des cutanes argileux épais d'illuviation à faible distance remplissant souvent les chenaux et quelquefois les chambres ; ils constituent les traits pédologiques les plus importants. Le squelette consiste généralement de limon. Les proportions entre les trois éléments sont : Plasma > vides > squelette. Les peds sont larges, polyédriques, anguleux à sub anguleux, quelquefois découpés en petits fragments. Quelques peds ne présentent aucune porosité.
- 20-110 cm : L'assemblage du matériau, qui ne présente pas de peds, est porphyrosquelique et l'organisation est de niveau basique. Le plasma est moyennement à fortement omnisépique, mais aussi parfois argillasépique et par endroits il peut être masqué par des taches de sesquioxides, rouges à brun foncé quand elles sont riches en fer ou plus claires quand elles en sont plus pauvres. Quelques zones sont de type masépique. Parmi les vides se trouvent des cavités oblongues, larges irrégulières, et d'autres plus rares arrondies, ainsi que des chenaux fins à moyens irréguliers et des fentes. On observe des nodules calcaires, orthiques, très irréguliers, souvent à bord diffus, et d'autres d'oxyde de fer noirs aussi à bord diffus, ainsi que des taches brunes de pseudo-gley. Des cutanes argileux d'illuviation épais noirs orientés, de type argilane, sont associés aux parois des vides. Les grains du squelette consistent de sable fin dominant et de limon grossier. Les proportions des trois éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 110-160 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau primaire dont les peds, poreux et riches en cavités, ne sont pas égaux (larges à moyens). Certains d'entre eux sont teintés par les oxydes de fer. Le plasma est argillasépique. Le fond matriciel contient des résidus organiques décomposés. Par ailleurs dans des chambres et des chenaux on observe des tissus racinaires non décomposés. Parmi les vides, les fentes interpédiques de pression sont dominantes, mais on observe aussi quelques chambres et des vides d'entassement. Des nodules ferrugineux fins à bords diffus, se trouvent dans le fond matriciel. D'autres nodules, calcaires, orthiques, sous forme concentrations plasmiques larges, très irrégulières, très diffus, sont communs. Des traits sous-cutaniques calcaires (néocalcitane) associés aux parois des vides sont fréquemment observés. Quelques cristaux rhombiques de gypse se trouvent au hasard dans le fond matriciel. Parmi le squelette qui se trouve dans la fraction du sable fin, le quartz est abondant avec quelques hornblendes et un peu de plagioclase et de muskovite. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette.

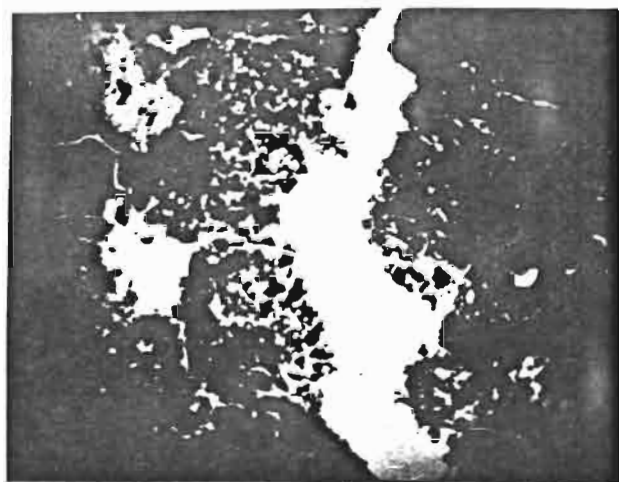
Profil B.



0-20 cm.



30X



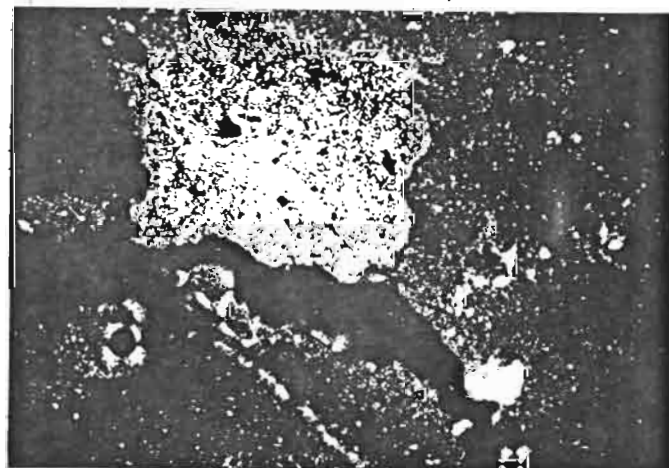
L.N.-50X



20-110 cm



30X



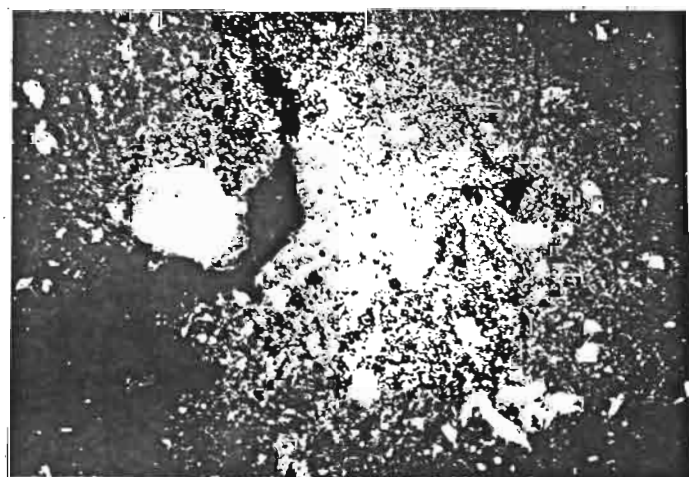
L.P.- 50X



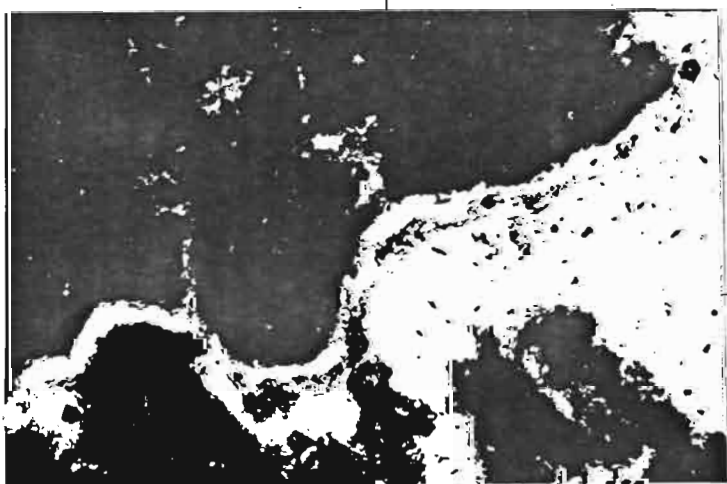
110-160 cm.



30X

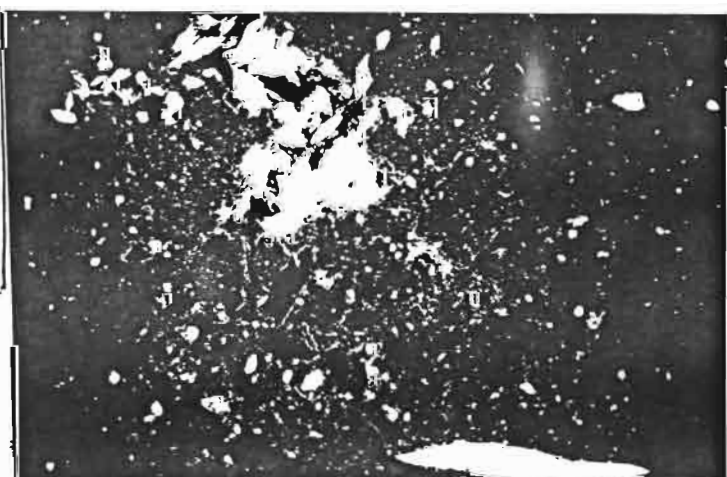


- L.P.- 50X



0-20 cm

-L.N-500X



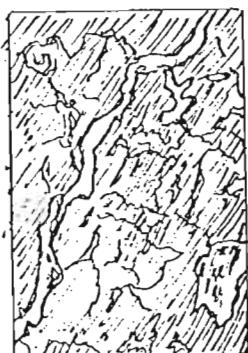
110 160 cm.

-L.P.- 50X

## Profil H

- 0-40 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau primaire. Le plasma est faiblement à moyennement omnisépique dans son ensemble avec quelques zones de type omnisépique et d'autres fortement omnisépique-masépique. Des résidus racinaires souvent très partiellement décomposés, et parfois bordés par des dépôts calcaires s'observent. Parmi les vides des fentes interpédiques, des vides d'entassement irréguliers, les chenaux larges et irréguliers, et des cavités intrapédiques moyennes sont fréquentes ; les chambres sont plus rares ; des nodules calcaires orthiques à bord très diffus, probablement formés en place sont communs dans le fond matriciel ; d'autres transportés sont plus rares. Des amas cristallins intrapédiques bien développés de gypse, des calcitanes épais diffus associés à des vides ou aux faces des peds sont visibles. Les peds sont moyennement larges, arrondis, faiblement poreux. Le squelette consiste en grains de sable fin et de limon : quartz, hornblende, augite, biotite et rutile ; le quartz est souvent anguleux, par contre l'émphibole est arrondie. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette
- 70-90 cm : Le matériau ne présente pas de peds ; son assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau basique. Le plasma est argillasépique avec omnisépique faible à moyen. L'existence des formations de gley est prouvée par la présence de taches ferrugineuses rougeâtres. Des amas cristallins rhombiques, moyens, de gypse se trouvent bien développés dans des chambres, avec quelques cristaux irréguliers de calcite. Des nodules de calcaire, et d'autres, irréguliers, d'oxyde de fer, ainsi quelques débris de coquilles s'observent. Les grains du squelette correspondent à la fraction sable fin et limon, et consistent en quartz, amphiboles et rutile. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 90-130 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau primaire. Le plasma est biclinomasépique (épais et fortement orienté) et lattisépique fort et épais. On y observe des séparations plasmiques dues à la présence de fentes ainsi que quelques chambres et de rares cavités remplies de cristaux de gypse. Des nodules d'oxyde de fer fins à moyens à bords diffus et des taches de pseudo-gley sont communes. Des nodules calcaires orthiques irréguliers à bord diffus larges à moyens sont fréquents. Des amas cristallins rhombiques de gypse sont très développés dans le sable. Des argillanes s'observent continus, épais, autour des peds et des vides ainsi que des cristaux de gypse dans certains de ces vides. Des néostraines liés aux parois des vides se trouvent comme traits sous-cutaniques. Les peds sont larges à moyens, plus ou moins réguliers et faiblement poreux. Les grains du squelette de la taille des sables fins et du limon consistent en quartz, hornblende (prismatique), biotite et plagioclases. Les proportions des divers éléments sont : plasma > traits pédologiques (gypse) > vides > squelette.

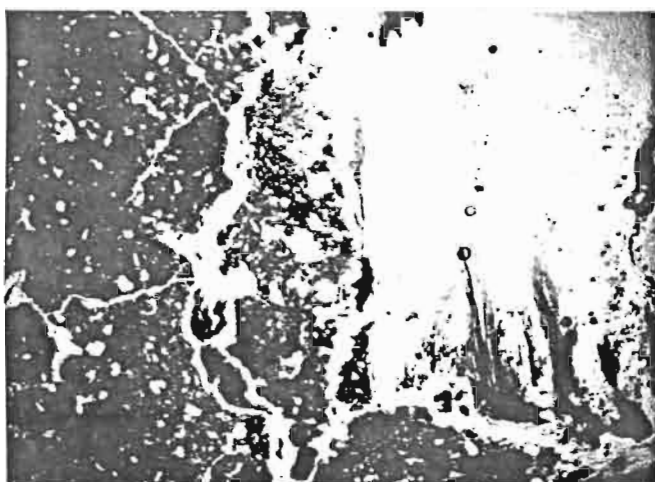
Profil H.



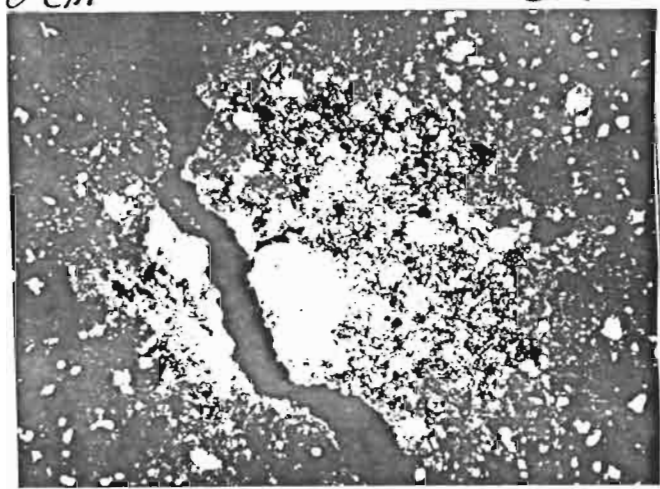
0-40 cm.



30X

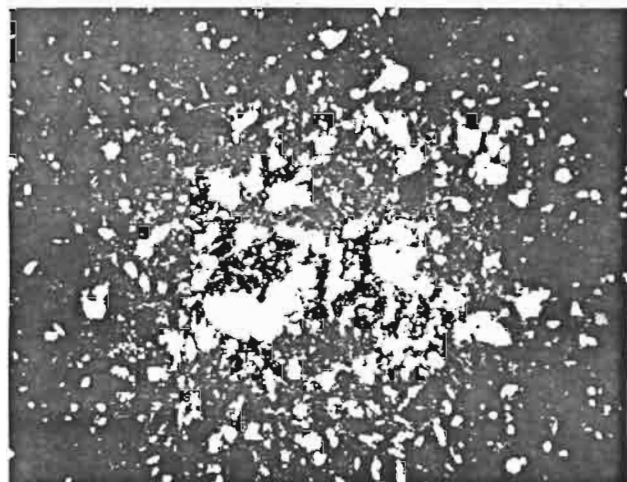


0-40 cm. L.P. - 50X



0-40 cm

L.P. 50X



0-40 cm

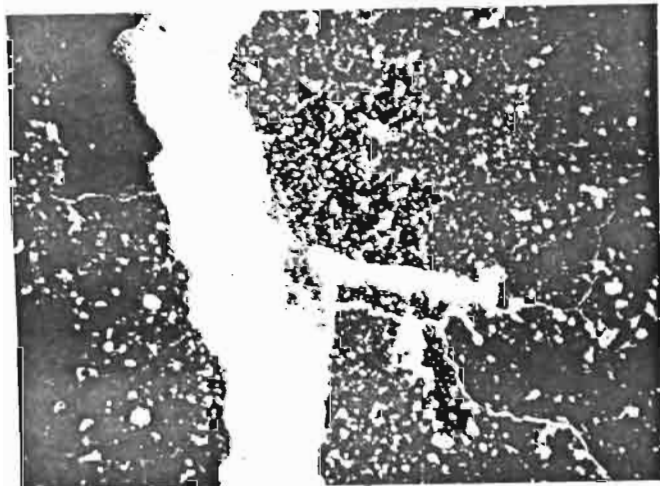
L.P. - 50X



70-90 cm.



30X



70-90 cm

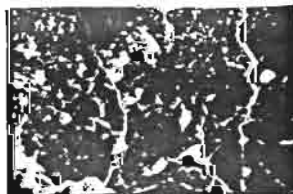
L.P. - 50X



90 - 130 cm.



30X



L.N. - 50X.

### Profil B<sub>3</sub>

- 0-40 cm : L'assemblage est porphyrosquelique et le niveau d'organisation est basique à primaire. Le plasma est silasépique-argillasépique avec quelques places de type moyennement à fortement omnisépique continu (plasma compact). Quelques résidus organiques fins, brun foncé, humifiés apparaissent dans le fond matriciel ainsi que, dans certaines chambres, quelques tissus racinaires faiblement décomposés. On observe comme vides des chambres larges à moyennes irrégulières, des cavités, des vides d'entassement et des fentes de glissement (méta) lisses. Quelques isotubules-méta diffus, des nodules orthiques d'oxyde de fer brun foncé à brun rougeâtre, irréguliers et arrondis se trouvent dans le fond matriciel à différents états de développement. D'autres nodules calcaires et petits sont rares. Le squelette consiste en très peu de hornblende prismatique dans la fraction de sable fin, et en quartz dans celle de limon. Par places le fond matriciel est constitué d'argile compacte sans aucun grain de squelette. Le matériau du sol est généralement apédique. Il contient parfois quelques pds arrondis irréguliers moyens à larges polyédriques subanguleux. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides >>squelette.
- 40-60 cm : Le fond matriciel est très hétérogène à cause des fragments des coquilles qui se mélangent avec les autres éléments du sol. L'ensemble des matériaux présente un assemblage de trois types suivant les places : aggloméré, intertextique et granulaire. L'assemblage du plasma peut-être fortement omnisépique continu (dans les parties riches en plasma). Des résidus organiques humifiés noirs sont fréquents dans le fond matriciel. On observe des fentes déviées larges ou fines et d'autres jointives fines, des cavités moyennes et des vides d'entassement simple ainsi que des nodules calcaires oblongues, des coquilles arrondies et des débris de coquilles fins à grossiers. Le squelette consiste en grains anguleux de quartz, plagioclase, augite, hornblende et biotite dans la fraction de sable fin. Les proportions des divers éléments sont : squelette + coquilles > plasma > vides.
- 60-100 cm : Le fond matriciel est fortement hétérogène à cause de l'existence d'une énorme quantité de débris de coquilles et de grains de squelette. L'assemblage est fréquemment porphyrosquelique mais, par places il est aggloméré ou plus souvent granulaire. Le plasma est très compact et son assemblage omnisépique est fortement développé. Les vides consistent en fentes larges ou fines déviées et en d'autres jointives en quelques cavités moyennes et en chambres remplies de grains de squelette. On observe des nodules d'oxyde de fer noir opaque irréguliers très diffus (probablement de pseudo gley ; des coquilles calcaires moyennes à larges arrondies intactes mêlées de débris. Les traits pédologiques importants observés sont des sesquianes moyennement épais. Le squelette consiste en grains de quartz, d'amphiboles et de quelques plagioclases, dans la fraction sable fin. Les proportions des divers éléments sont : plasma = squelette = coquille > vides.

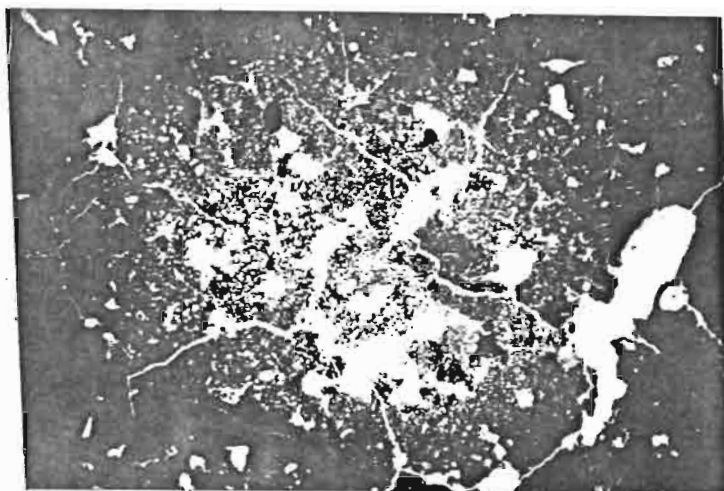
Profil B<sub>3</sub>



0-40 cm



30X



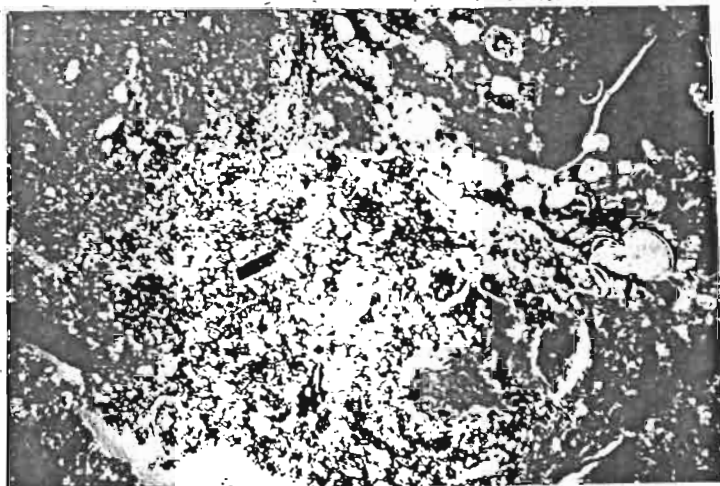
L.N. - 50X



40-60 cm.



30X



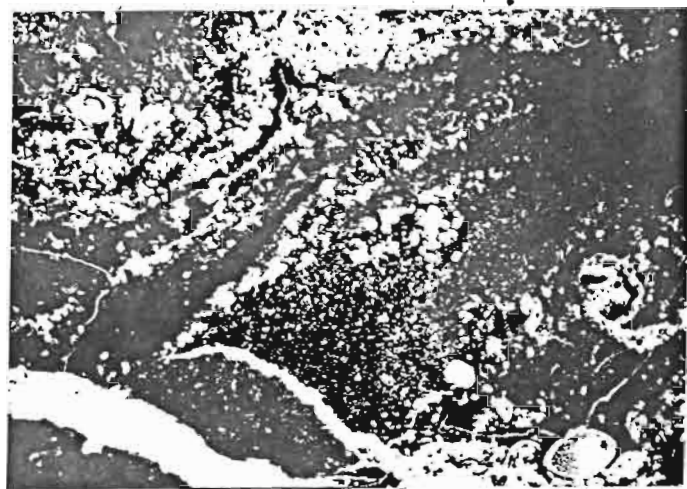
L.P. - 50X



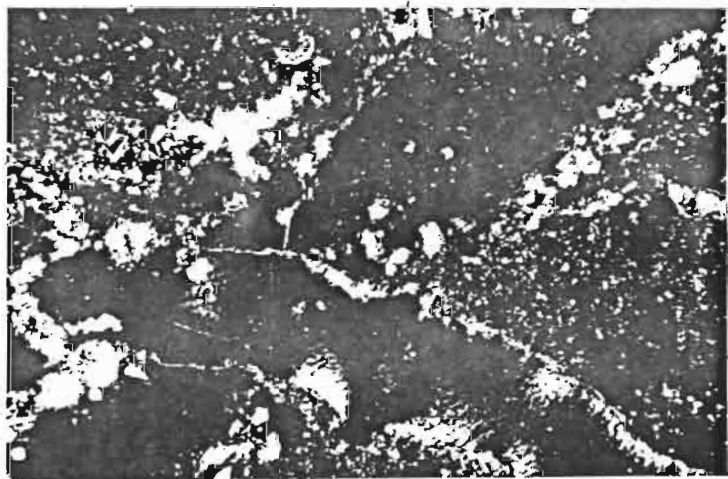
60-100 cm.



30X



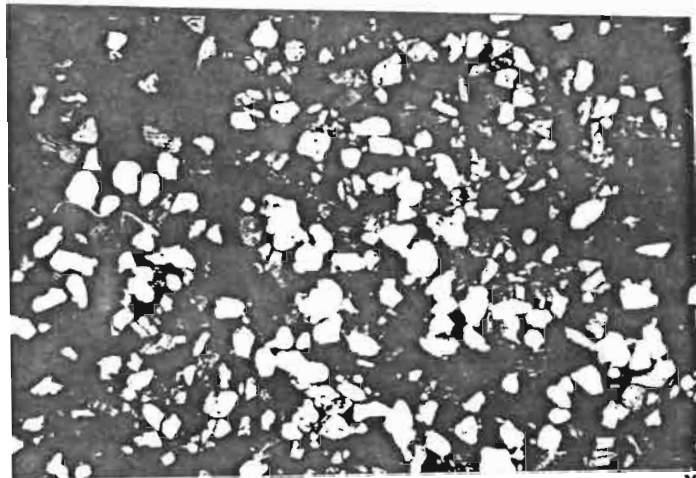
L.P. - 50X



60-100 cm. L.P. - 2000X

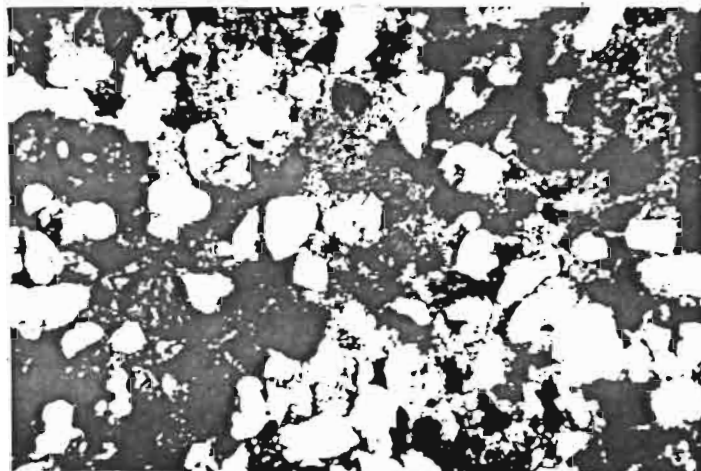
Profil B<sub>2</sub>

0-30 cm et 30-53cm : L'assemblage du matériau est granulaire. Le niveau d'organisation est basique. Le plasma est très rare de type cutanique fin (argillane calcaire autour de quelques grains de squelette) surtout entre 30 et 53 cm. Des vides d'entassement simple et quelques chambres sont présents. Le squelette consiste en grains de quartz, hornblende, augite, muscovite et plagioclases dans les fractions de sable fin et de sable grossier. Les proportions des divers éléments sont : squelette >> vides >> plasma.



0 - 30 cm.

L.P. 50 X



30 - 50 cm.

L. P. 125 X

## Profil F

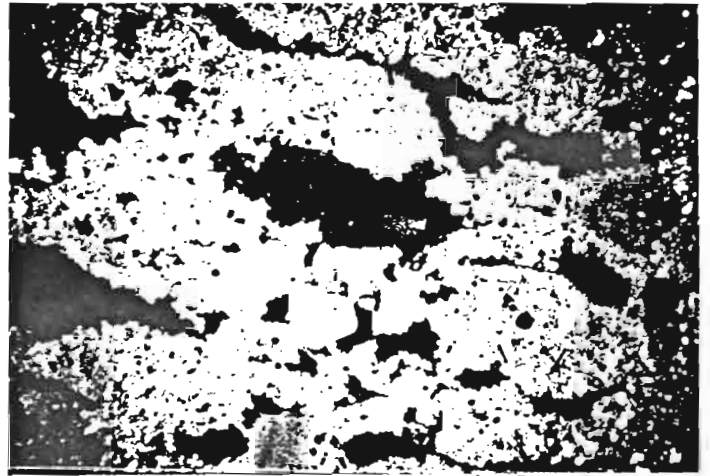
- 0-15 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. Le niveau d'organisation est primaire et les peds sont moyens à larges irréguliers très faiblement poreux polyédrique parfois lamellaires ou oblongues. Le plasma formé de calcaire et d'argile très fine orientée forme un assemblage fortement argilasépique et omnisépique par places. Dans quelques zones on y trouve des taches brun-clair à jaunes d'oxyde de fer. Parmi les vides dominent des vides interpédiques d'entassement simple, large, irréguliers orthiques les cavités intrapédiques sont plus rares. Le squelette consiste en grains de quartz arrondis irréguliers, de taille voisine de 0,2 mm de hornblende prismatique, souvent dans la fraction sable grossier et de quelques grains de rutile. Aucun trait pédologique n'est visible. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides >> squelette.
- 15-40 cm : L'assemblage est porphyrosquelique avec quelques rares peds moyens irréguliers non poreux. Le plasma d'un assemblage argilasépique dominant, plus rarement omnisépique par places. Le matériau est faiblement poreux ; des fentes dérivées de pression, fines et irrégulières sont dominantes, mais il existe quelques cavités oblongues et irrégulières. Parmi le squelette domine le quartz dans la fraction sable fin, et rarement sable grossier ; l'hornblende est aussi fréquente dans la fraction sable fin. Les traits pédologiques ne s'observent pas sauf quelques nodules calcaires, irréguliers et à bords diffus. Les proportions des divers éléments sont : plasma >> squelette > vides.
- 40-50 cm : L'assemblage est porphyrosquelique ; on n'observe pas de peds. Le plasma a un assemblage argilasépique dominant, omnisépique par places. Parmi les vides généralement larges à moyens et irréguliers, se trouvent des chambres, des cavités et des fentes déviées courtes et irrégulières. Il n'y a pas de traits pédologiques, sauf quelques zones qui paraissent présenter des concentrations calcaires irrégulières à bord diffus. Le squelette est constitué de quartz dans les fractions de sable fin et de sable grossier, d'hornblende dans la fraction de sable fin et d'un peu de plagioclase. Entre les différentes fractions ne s'observent pas de gradation normale. Les proportions entre les éléments sont : plasma > vides > squelette.

Profil F.



0-15 cm.

30X

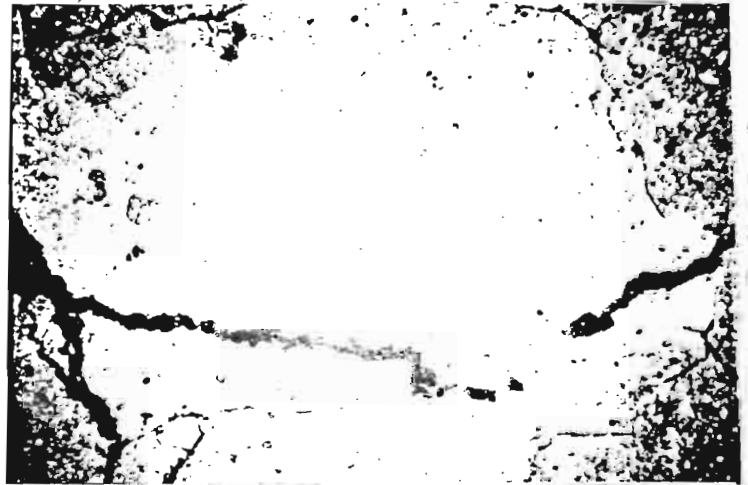


L.P.-50X



15-40 cm.

30X



L.P.-50X

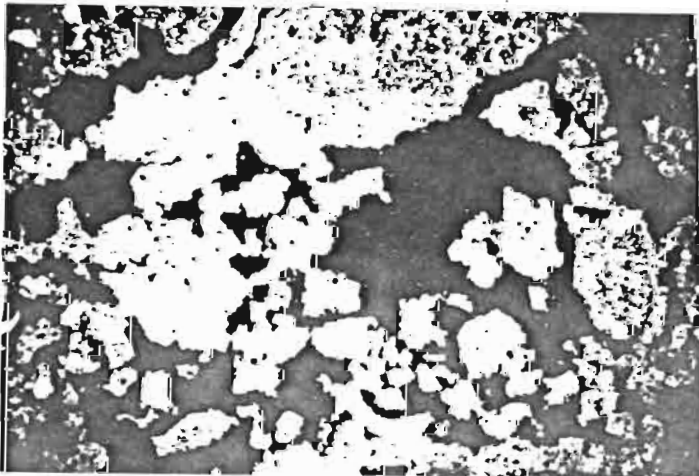


40-50 cm.

30X



L.P. - 20X



0-15 cm.

L.P. - 50X

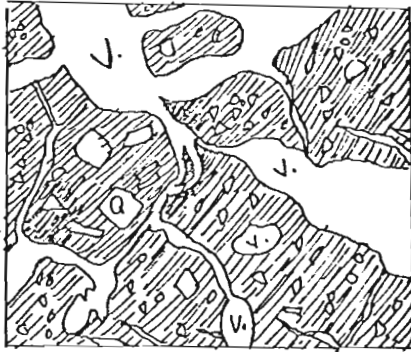
## Profil E.B.

- 0-30 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau basique et ne présente pas de peds. Le plasma est argilasépique dominant avec quelques zones omnisépiques. Quelques résidus organiques humifiés se trouvent dispersés dans le fond matriciel. Des chenaux larges sont communs ainsi que des fentes déviées de glissement et des chambres. Parmi les traits pédologiques on trouve des nodules d'oxyde de fer brun-rougeâtre foncé, anguleux, arrondis ou oblongues contenant souvent des grains de quartz ; on observe aussi quelques petits nodules calcaires. Le squelette se trouve dans la fraction de sable fin et consiste en quartz, amphiboles et rutile. Les divers éléments se trouvent dans les proportions: plasma > squelette = vides.
- 70-100 cm : L'assemble est porphyrosquelique. L'organisation est de niveau basique sans ped. Le plasma est argilasépique dominant, in-vo squelsépique par places. Des résidus organiques humifiés ou parfois peu décomposés se trouvent dans le fond matriciel. Parmi les vides importants on observe des chenaux larges et irréguliers, des chambres et des cavités petites à moyennes. Des nodules d'oxyde de fer orthiques brun-rougeâtre foncé à bords diffus à très diffus sont dispersés dans le fond matriciel. D'autres calcaires, larges arrondis contenant des grains de squelette et des cavités y existent aussi, ainsi que quelques nodules d'oxyde de fer opaque, larges, arrondis contenant des grains de squelette. On observe aussi des concrétions de calcaire, d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse à assemblage concentrique. Le squelette onside en sable fin et en limons anguleux : quartz, hornblende, biotite, rutile et plagioclases. Les proportions entre les divers éléments sont plasma > vides > squelette.

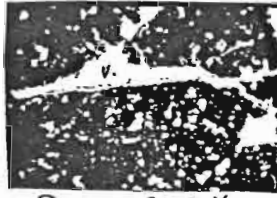
Profil E.B.



0-30 cm



30X



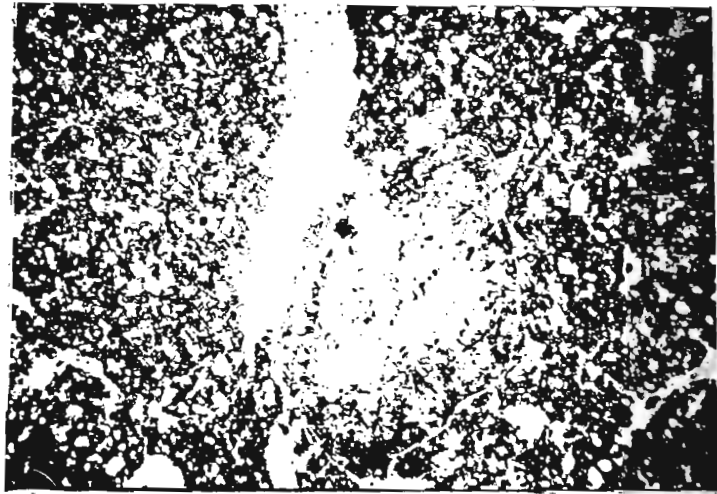
L.P. - 800 X



70-100cm.

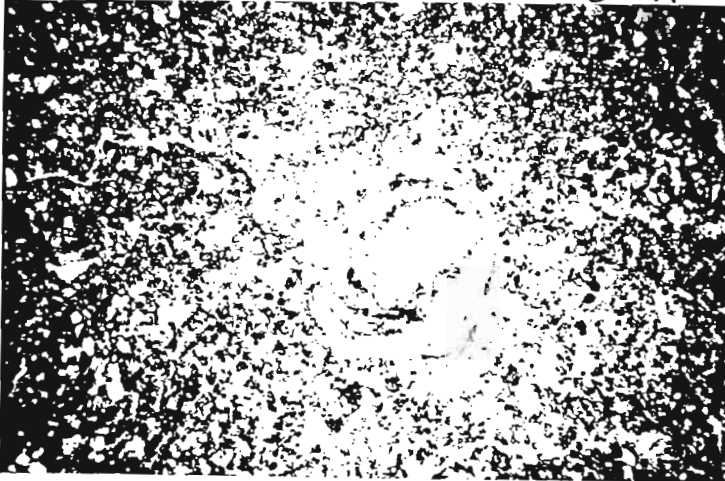


30X



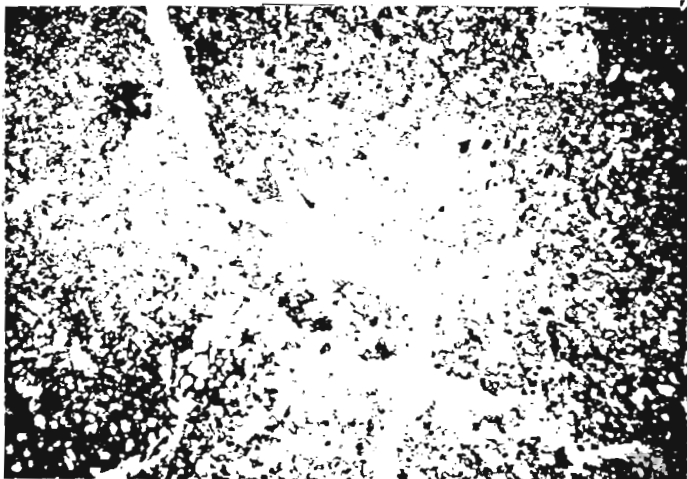
70-100 cm

L.P. - 50X



70-100 cm.

L.P. - 50X



70-100cm. L.P. - 50X

## Profil B<sub>4</sub>

- 0-30 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. Le niveau d'organisation est basique aucun ped n'est visible. Le plasma a un assemblage omnisépique moyennement fort. On observe des résidus organiques peu décomposés à collumnaire . Le fond matriciel est fortement poreux ; il présente des chambres irrégulières de différentes tailles ainsi que des cavités moyennes. Parmi les traits pédologiques on trouve quelques nodules de fer arrondis, d'autres calcaires, moyens arrondis et quelques concrétions moyennes composées de calcaire et d'oxyde de fer. Le squelette consiste de sable fin : quartz, hornblende, augite, rutile et plagioclase. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 30-80 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. Le niveau d'organisation est basique à primaire. Quelques peds moyens à larges très anguleux se trouvent dans le matériau de sol souvent apédique. Le fond matriciel présente deux assemblages: le premier, riche en plasma est argillasépique à faiblement omnisépique, le deuxième est pauvre en plasma. Le plasma est quelquefois teinté par des produits ferrugineux (pseudo-gley). Parmi les vides apparaissent des fentes-méta larges de glissement, des chambres, des fentes jointives et des cavités-méta larges et oblongues. On observe des nodules ferrugineux orthiques fins à moyens dispersés, d'autres calcaires riches en oxyde de fer, larges et arrondis, d'autres encore calcaires orthiques irréguliers contenant des grains de squelette intégrés. On observe aussi des amas des cristaux de gypse intercalaires dans le fond matriciel. Le squelette consiste en sable fin anguleux à sub-anguleux : quartz, augite, hornblende et rutile. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 80-95 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. Le niveau d'organisation est basique, sans ped. Le plasma est argilasépique et omnisépique par places. Parmi les vides on observe des cavités fines, quelques larges chenaux, et de rares chambres larges. Des nodules calcaires arrondis, quelques concrétions calcaires contenant des éléments sesquioxydiques, moyens arrondis à elliptiques existent à ce niveau. Le squelette consiste en sable fin et en limon : quartz, hornblende, augite, plagioclase et rutile. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 95-150 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est basique à primaire, généralement apédique contenant quelquefois des peds larges et irréguliers. Le plasma a un assemblage argilasépique contenant avec quelques plages omnisépiques d'intensité forte à moyennement forte. Des cavités souvent moyennes et irrégulières sont observées. Parmi les traits pédologiques on trouve des concrétions calcaires contenant des éléments sesquioxydiques, arrondies moyennes à larges, et d'autres entourées par un film cutanique d'élément sesquioxydique brun foncé. Le squelette consiste en sable fin et limon : quartz, amphiboles, biotite plagioclase et rutile. Les proportions des divers éléments sont : plasma > squelette = vides.

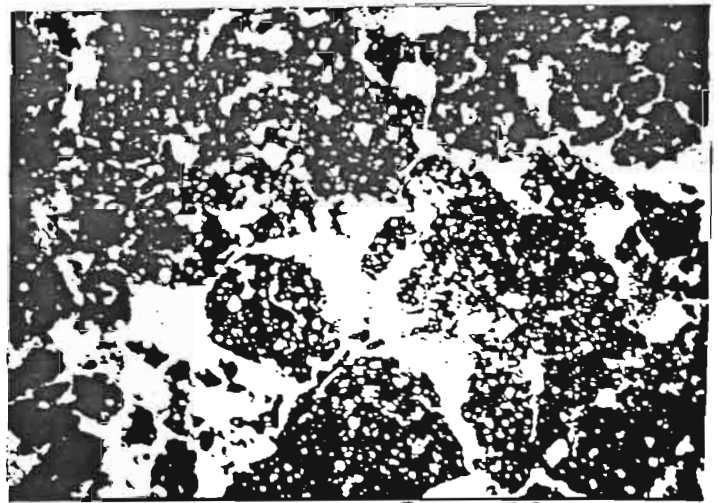
Profil B4.



0-30 cm.



30X



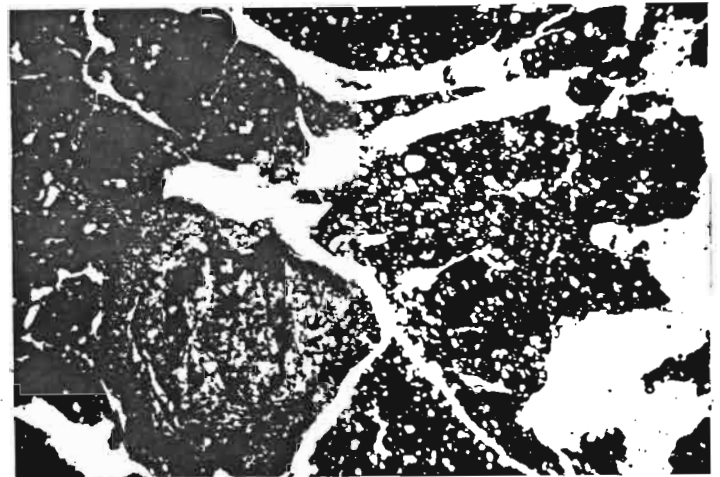
L.P. - 50 X



30-80 cm.



30X



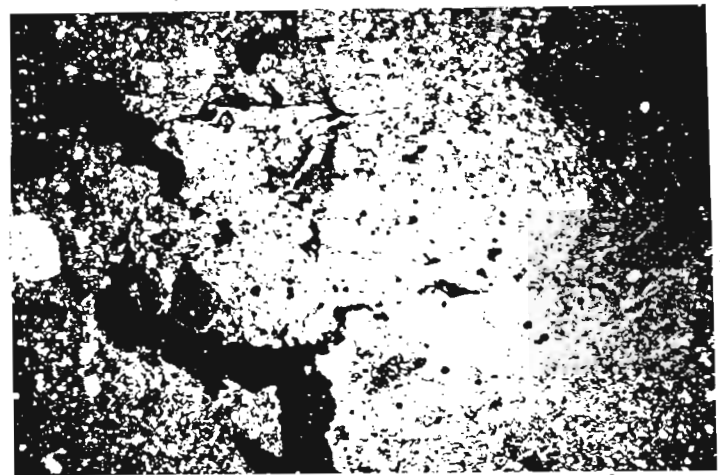
L.P. - 50 X



80-95 cm.



30X



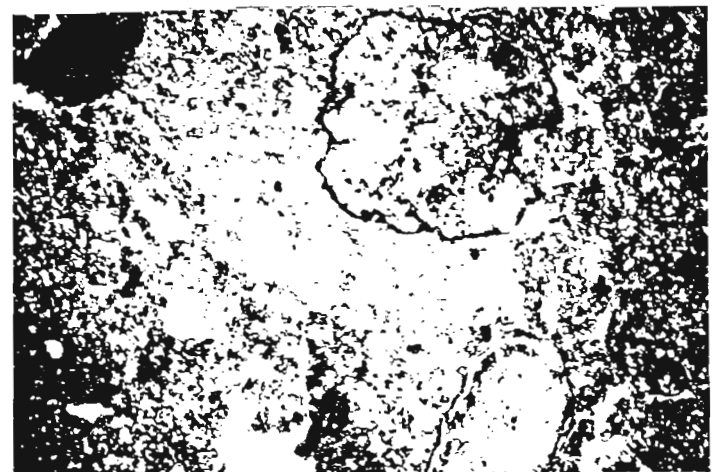
L.P. - 50 X



95-150 cm.



30X



L.P. - 50 X

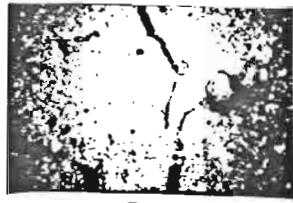
## Profil S<sub>1</sub>

- 0-40 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. Le matériau pédique consiste en peds très compacts, nettement définis, moyennement larges polyédriques sub anguleux. Le plasma a un assemblage argilasépique. Parmi les vides des chenaux larges et lisses ainsi que des cavités moyennes arrondies à elliptiques sont communes. On observe des nodules calcaires orthiques à bords diffus et quelques autres composés de calcaire et d'oxyde de fer ainsi que d'autres plus fins d'oxyde de fer seulement. Des concrétions calcaires contenant de l'oxyde de fer existent aussi. Le squelette consiste en grains de limon et de sable très fin. Les proportions entre les divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 40-80 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. Le niveau d'organisation est primaire à secondaire. Le matériau pédique se forme de peds polyédriques secondaires larges et d'autres primaires moins larges. Le plasma est parfaitement silasépique. Des cavités moyennes sont fréquentes ainsi que des chenaux de différentes tailles. Des nodules calcaires oblongs à arrondis parfois teintés d'oxyde de manganèse et d'autres oxydes de fer sont fréquents. Le squelette consiste en grains de limon. Les proportions entre les trois éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 80-120 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. L'organisation est basique à primaire. Le matériau est apédique dans son ensemble, mais quelques peds compacts arrondis bien définis apparaissent par places. Ils sont parfois bordés par des argilanes épais. Le plasma a un assemblage argilasépique dominant ou vosépique, moins souvent, mince très faible ; la couleur est brun très foncé. Parmi les vides, dominent des chenaux larges, d'autres étroits et irréguliers, et d'autres encore orthiques, liés aux chambres larges et irrégulières. Il y existe aussi des cavités-méta moins fréquemment arrondies, et d'autres orthiques. Quelques argilanes épais se trouvent associés aux chenaux. De petits nodules d'oxyde de fer brun foncé arrondis, contenant parfois quelques grains de quartz constituent le trait pédologique. On observe aussi d'autres nodules calcaires interpédiques moyens à larges elliptiques dont certains sont teintés d'éléments sesquioxydiques rouges à bruns très foncés. Des pédodes constitués de calcaire et de sesquioxydes à distribution rayonnante s'observent aussi. Le squelette consiste en grains de quartz elliptiques irréguliers dans la taille des sables fins et des limons. Les proportions des divers éléments sont : plasma > squelette > vides.
- 120-170 cm : Cette couche se présente exactement comme celle de 40-80 cm.

# Profil S<sub>1</sub>



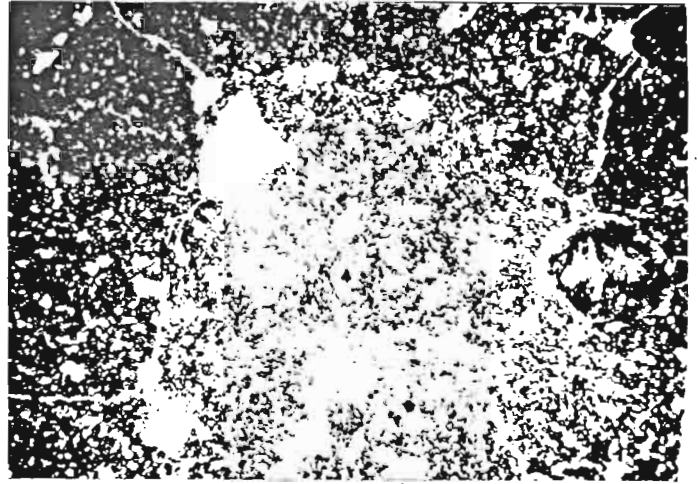
0-40 cm.



L.P. - 20X



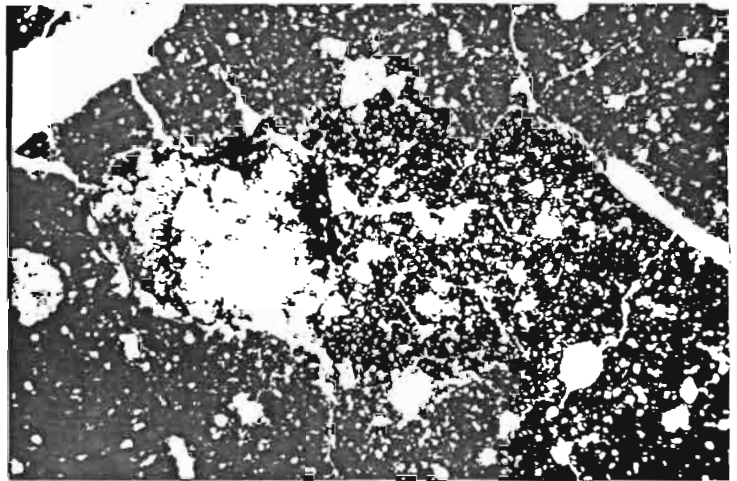
40-80 cm.



L.N. - 50X



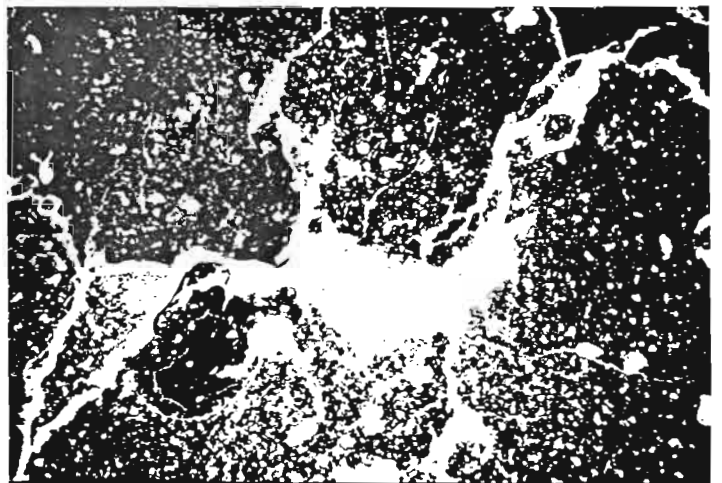
80-120 cm.



L.N. - 50X



120-160 cm.

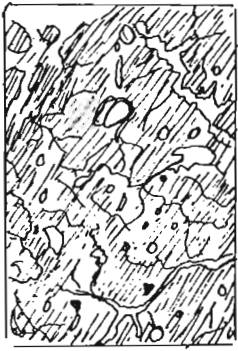


L.N. - 50X

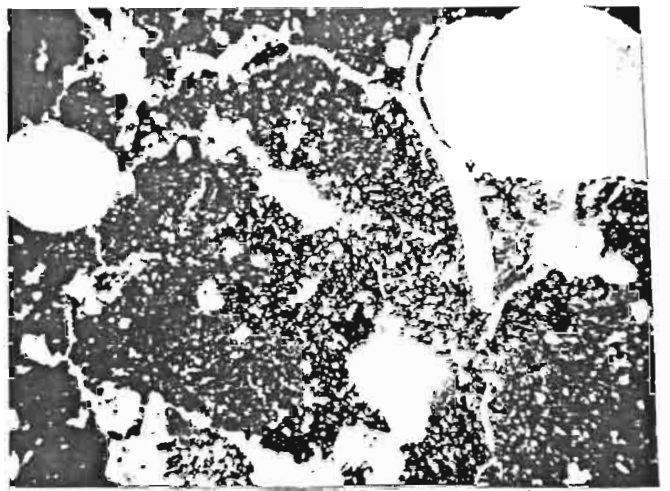
## Profil G<sub>1</sub>

- 0-30 cm : Le fond matriciel est pédique très poreux. L'assemblage est porphyrosquelique. Les peds sont de formes différentes, soit polyédriques larges, soit arrondis à elliptiques. Le niveau d'organisation est secondaire. Le plasma a un assemblage argilasépique et vo-squelsépique par places. Des résidus racinaires non décomposés, et quelques tissus cellulaires brun foncé humifiés s'observent dans le fond matriciel. Parmi les vides on observe des chambres larges, interpédiques irrégulières isolées, des chenaux branchés, des fentes déviées régulières fines et lisses. Parmi les traits pédologiques des argilanes épais liés aux vides et aux grains de squelette sont dominants, des calcitanes épais également liés aux vides sont communs. On observe des petits nodules orthiques calcaires intrapédiques à bord difus et quelques autres inter et intrapédiques moyens arrondis à elliptique sans ou avec teintes sesquioxydiques. On observe aussi quelques concrétions composées de calcaire et d'oxydes de fer à assemblage concentrique. Le squelette consiste en grains de quartz érodés arrondis, dans les tailles de sable fin et sable grossier ainsi qu'en quelques coquilles complètes rondes et quelques grains arrondis à elliptiques de biotite, augite et hornblende. Les proportions entre les divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 30-60 cm : Le fond matriciel est pédique poreux et fracturé. Les peds sont moyens à larges polyédriques subanguleux à arrondis. Quelques peds petits secondaires, dus à l'agglomération d'argile se produisent. L'assemblage est porphyrosquelique. Le plasma est généralement masépique à masépique-squelsépique et argilasépique par places. Des débris racinaires se trouvent fréquemment associés aux vides. Des chenaux méta-interpédiques irréguliers s'observent entre les peds secondaires ; d'autres transpédiques s'observent aussi. Des cavités moyennes elliptiques à arrondies sont fréquentes ainsi que des fentes méta-déviées qui se trouvent entre les peds primaires. Parmi les traits pédologiques s'observent des nodules de calcaire ou de calcaire et de sesquioxides interpédiques, moyens à larges, elliptiques à arrondis. Certains d'entre eux sont enrobés par des cutanes d'oxyde de fer. Quelques autres ont été attaqués, semble-t-il, par l'activité racinaire. Quelques organanes épais sont liés aux parois des vides. Le squelette consiste en grains de quartz dans les fractions de limon et de sable fin ; parfois arrondis subanguleux ou émoussés, avec quelques grains de palgioclases. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 80-180 cm : L'assemblage est porphyrosquelique. Le matériau du sol est apédique en général mais contient parfois des peds moyennement larges polyédriques anguleux à subanguleux et fortement poreux. Le plasma a un assemblage très nettement vo-squelsépique et argilasépique épais et continu. Des résidus organiques décomposés sont fréquents liés aux parois des vides. Parmi les vides des cavités méta moyennes, sont dominantes ainsi que des chambres, des fentes déviées de pression. On observe des argilanes de pression liés aux grains de squelette et des nodules calcaires orthiques. Des nodules calcaires contenant de l'oxyde de fer et de manganèse, larges, irréguliers oblongs enrobés parfois d'éléments cutaniques d'oxyde de manganèse existent aussi. Le squelette consiste en quelques grains arrondis de quartz dans la taille du sable grossier et en grains de biotite et de quartz dans les tailles du sable fin et du limon. Les proportions entre les divers éléments sont : plasma > vides > squelette.

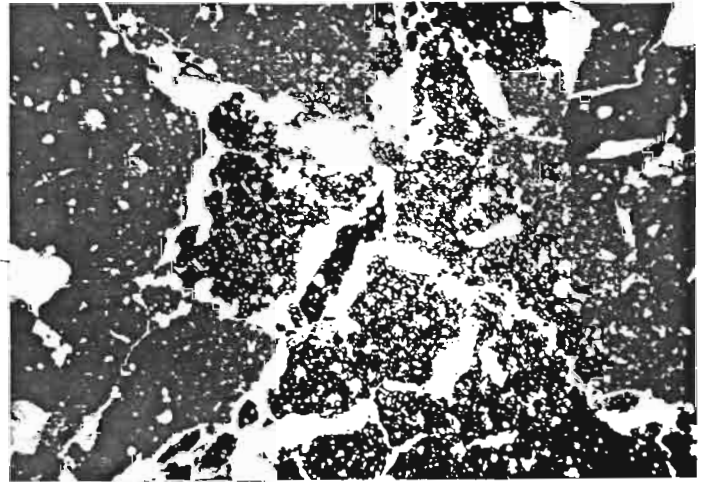
Profil G<sub>1</sub> :



0-30 cm.



0-30 cm. - L.P. - 50X



0-30 cm. - L.N. - 50X



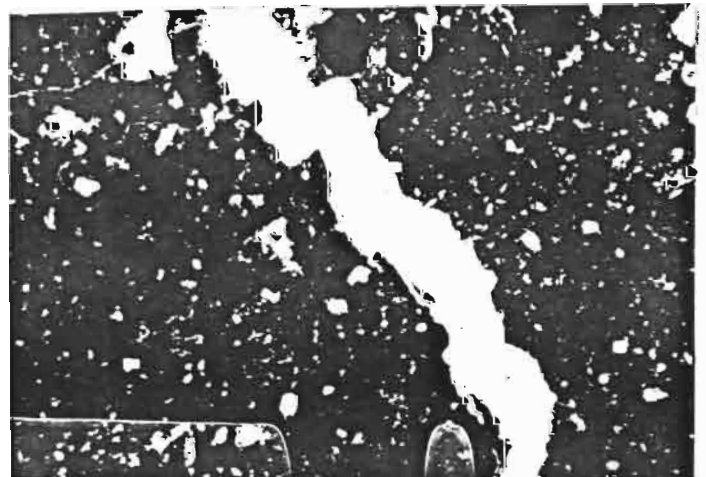
30-60 cm.



30-60 cm. - L.N. - 50X



80-180 cm.

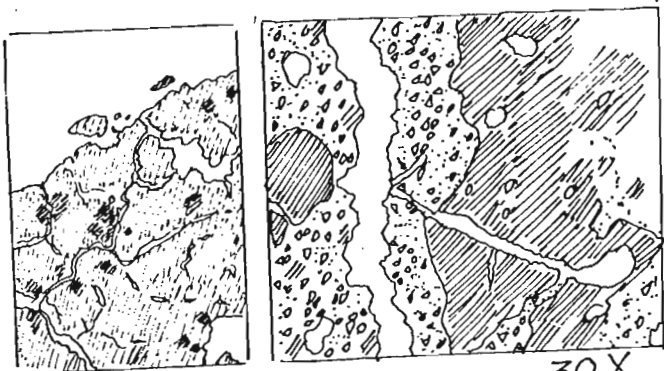


80-180 cm. - L.N. - 125X

## Profil B<sub>1</sub>

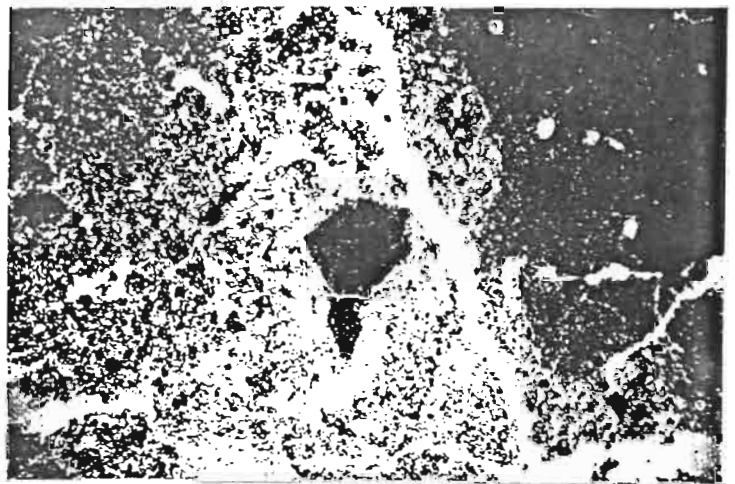
- 0-20 cm : Le fond matriciel est apédique en général mais contient par places des peds polyédriques élyptiques séparés par des zones apédiques. Il consiste de deux assemblages différents : le premier, riche en limons, à assemblage silasépique semblable à du loess ; le deuxième riche en argile, à assemblage argilasépique. Le niveau d'organisation est primaire. L'assemblage général de matériau est porphyrosquelique avec quelques zones aggloméroplasmiques. De petits résidus organiques humifiés brun foncé à noirs et quelques débris racinaires non décomposés se trouvent distribués dans le fond matriciel. Parmi les vides, les cavités petites à moyennes arrondies sont communes ; des chenaux continus larges et irréguliers, ainsi que des chambres moyennes à larges sont aussi fréquentes. On observe quelques circumsub-organanes des vides, des nodules orthiques d'oxyde de fer arrondis à élyptiques petits à moyens, à bords diffus et quelques autres, calcaires, irréguliers, teintés par les sesquioxides. Le squelette consiste principalement en quartz de la taille du sable fin et du limon. Il s'y trouve aussi des grains de biotite, arrondis et de feldspaths euhédriques dans la fraction de sable fin. Les proportions des divers éléments dans les parties riches en limon sont : squelette = plasma > vides. Dans les parties pauvres en limon elles sont : plasma > vides > squelette.
- 40-62 cm : Dans le fond matriciel on distingue clairement deux parties différentes mais de même importance : la première est argileuse avec quelques zones de limon bien regroupé ; la deuxième est argileuse avec de grandes zones très riches en squelette de la taille des sables. Le matériau est apédique à niveau d'organisation basique. Le plasma est brun et omnisépique. Parmi les vides, dominant des fentes méta de pression étroites à moyennes d'autres jointives. Des cavités étroites oblongues à arrondies et de petites chambres sont aussi présentes. Des nodules d'oxyde de fer, petits à moyens, interpédiques et quelques taches ferrugineuses se trouvent dans le matériau du sol. Le squelette consiste en grains dans les tailles des sables fins et des sables grossiers ; de quart et de plagioclase nettement cristallisé, de pyroxène dont certains sont cimentés par le calcaire et de quelques débris de coquilles épais courbés ou oblongs. Les proportions des divers éléments dans les parties riches en argile sont : plasma > vides > squelette, et dans les autres parties: squelette > plasma > vides.
- 62-70 cm : Couche de coquilles lacustres mais de zones plus ou moins saumâtres et de débris mêlés de sables.
- 70-102 cm : Le fond matriciel consiste en deux matériaux principaux très mêlés ; le premier est très riche en limon et en sable fin, le deuxième est pauvre en squelette. Il est généralement apédique, poreux et d'organisation de niveau basique. Le plasma est argilasépique et omnisépique moyennement fort, brun à brun très foncé. Ces différences de coloration paraissent dues aux variations de teneur en argile des diverses zones. Parmi les vides, des cavités orthiques moyennes à larges, arrondies à oblongues, sont dominantes, mais il existe aussi de rares chenaux. On observe également des argilanes très nets et continus, associés aux cavités oblongues ainsi que des circumsubargilanes, des quasisubargilanes et des circumsubesquanes liés aux cavités. Des bandes étroites d'oxyde de fer, parallèles à subparallèles, teintent par place, le fond matriciel surtout dans les zones pauvres en squelette. De petits nodules d'oxydes de fer bruns orthiques arrondis à bords diffus sont communs dans le fond matriciel. Les proportions des divers éléments sont en général plasma > squelette >> vides.

Profil B<sub>1</sub>:

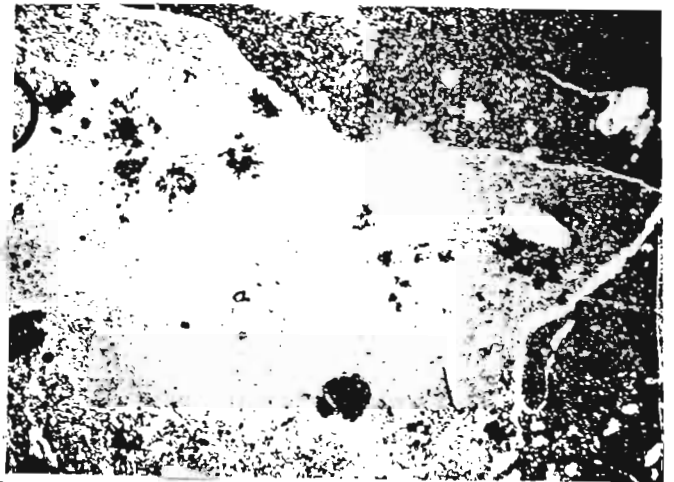


0-20 cm.

30X



L.P. - 50X

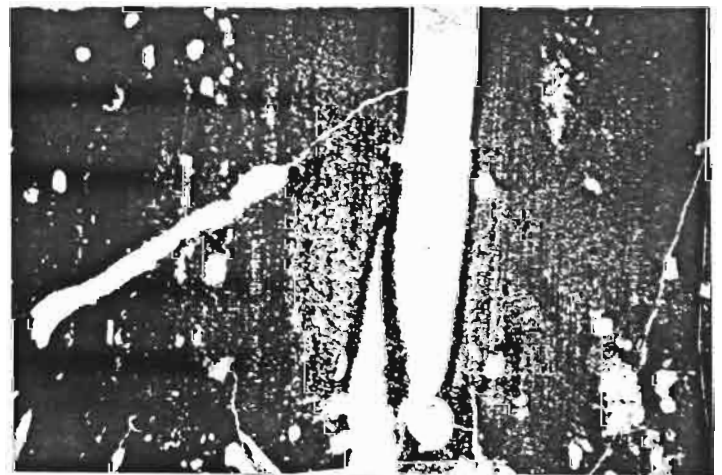


20-40 cm.

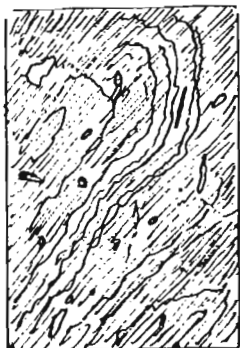
L.P. - 50X



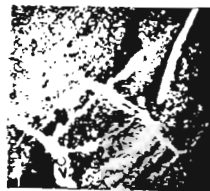
40-62 cm.



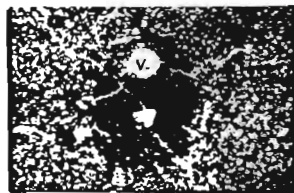
L.P. - 50X



70-102 cm.



L.N. - 20X



L.N. - 50X



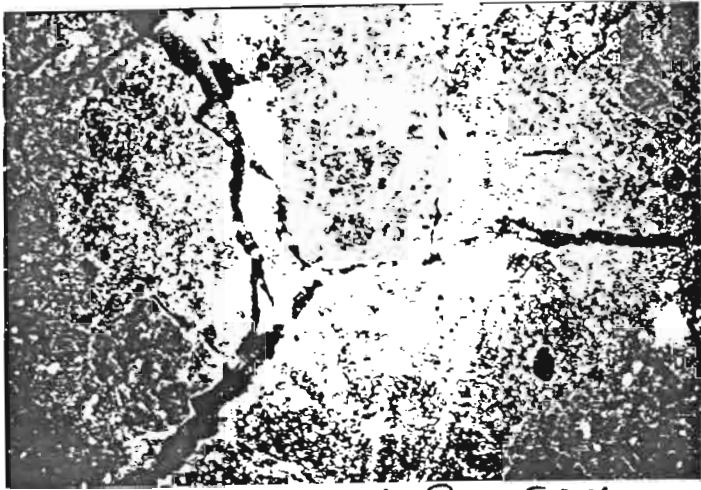
L.N. - 125X

## Profil S<sub>h</sub>

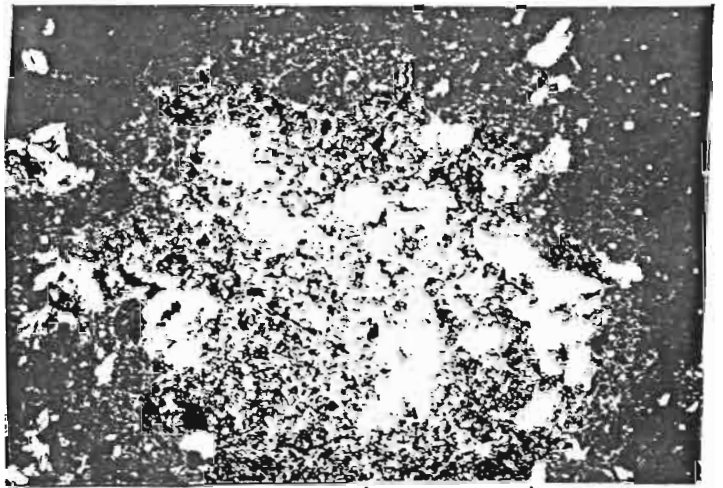
0-40 cm : L'assemblage est porphyrosquélique. Le matériau est pédique à peds bien définis larges à moyens réguliers, polyédriques subanguleux, poreux riches en cristaux gypse. Le niveau d'organisation est primaire. Le plasma a un assemblage fortement masépique-omnisépique continu. Quelques résidus racinaires fins et de rares débris organiques humifiés fins et irréguliers. Parmi les vides dominant des fentes-méta interpédiques déviées fines de pression. Quelques chambres interpédiques larges et irrégulières, de plus rares chenaux interpédiques larges irréguliers et très peu de cavités interpédiques fines oblongues existent aussi. Des amas cristallins de gypse rhombique dans la taille du sable fin, bien développés se trouvent répartis au hasard dans le fond matriciel et dans des chambres lenticulaires inter- et intrapédiques. Des argilanes épais fortement orientés sont liés aux parois des vides contenant du gypse. On observe aussi quelques nodules calcaires et d'autres d'oxyde de fer orthiques irréguliers à bords diffus. Le squelette consiste en grains de quartz anguleux de hornblende prismatiques ou arrondis d'augite, de biotite et d'un peu de rutile, dans les fractions sable fin et limon. En général la taille dominante est entre celle du limon de la limite inférieure du sable fin. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > cristaux de gypse > squelette.

130-180 cm : L'assemblage est généralement porphyrosquélique. La plus grande partie des peds compacts faiblement poreux consiste simplement en éléments argileux (sans squelette). Le niveau d'organisation est basique. Le plasma est fortement ma-omnisépique continu. Parmi les rares vides dominant des fentes déviées de glissement et d'autres jointives. Il y existe aussi quelques chambres très irrégulières et de rares cavités de différentes tailles. Des nodules d'oxyde de fer orthiques brun rougeâtre petits, moyens ou larges irréguliers paraissant l'expression d'un pseudogley. Certains d'entre eux sont bordés par de cricum subferranes et quasi subferranes. Le squelette est très rare. Il consiste généralement en limon très fin ou sable fin quartzeux. Les proportions des divers éléments sont : plasma >> vides >> squelette.

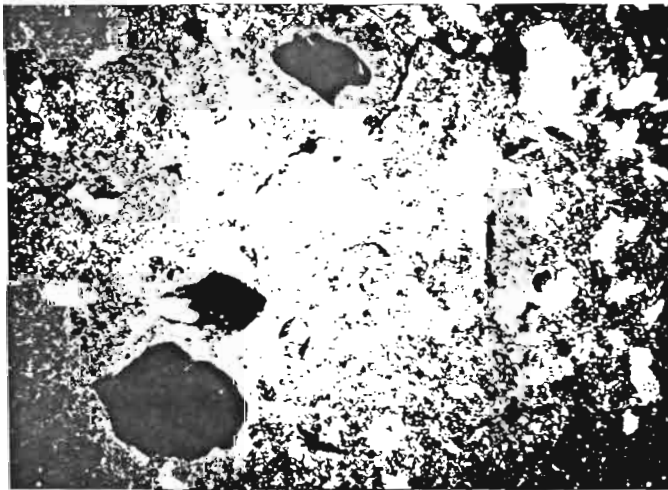
Profil. Sh :



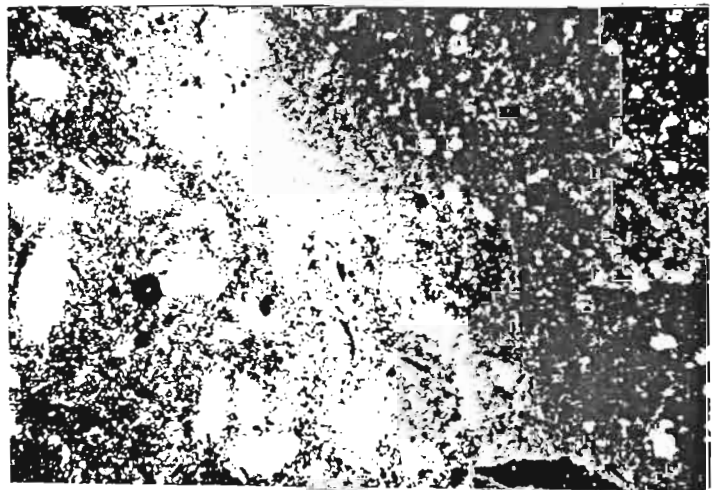
0-40 cm. - L.P. - 50X.



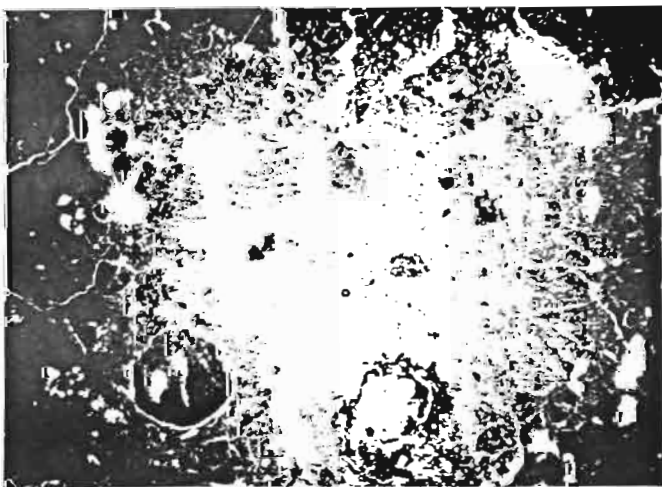
0-40 cm. - L.P. - 50X.



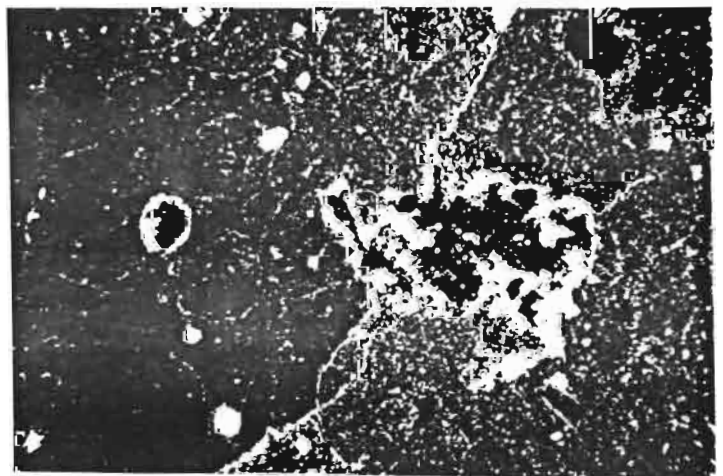
0-40 cm. - L.P. 50X.



0-40 cm. - L.P. - 125X.



130-180 cm. L.N. - 50X.



130-180 cm. L.P. - 125X.

## Profil Ks

- 0-30 cm : L'assemblage du matériau est porphyrosquélique, apédique, fortement poreux et de niveau basique. Le plasma est argilasépique. Parmi les vides des chambres larges irrégulières sont communes. On observe aussi des cavités moyennes et de courts chenaux. Des nodules calcaires et d'autres d'oxydes de fer, petits à moyens arrondis à oblongs sont fréquents ; d'autres, aussi calcaires mais contenant des sesquioxides sont plus rares. Le squelette consiste en quartz, hornblende, augite, biotite, plagioclases et quelques rutilés dans la taille des sables fins. Les éléments de sable grossier sont uniquement quartzeux. Les proportions entre les divers éléments sont : plasma > squelette > vides.
- 30-90 cm : L'assemblage est porphyrosquélique, pédique à peds bien développés moyens à larges, polyédriques subanguleux et poreux. Le niveau d'organisation est primaire à secondaire. Le plasma a un assemblage argilasépique dominant avec zones insépiques, masépiques ou squelsépiques épaisses. Parmi les vides, des fentes fines interpédiques irrégulières des chenaux et des chambres larges oblongues et régulières sont communs. On observe aussi des cavités méta, fines et oblongues. Il y existe des nodules d'oxyde de fer orthiques fins à moyens, irréguliers à bords diffus ainsi que quelques concrétions concentriques de calcaire et d'oxyde de fer. Le squelette est constitué, dans la taille des sables fins d'hornblende prismatique, d'augite arrondis, de quartz anguleux à subanguleux, et de quelques grains de rutilé arrondi, de plagioclases et de biotite. Il comprend aussi quelques grains de sable grossier de quartz. Les proportions des divers éléments sont : plasma > vides > squelette.
- 90-120 cm : L'assemblage est généralement porphyrosquélique, granulaire ou intertextique par places ; en quelques zones il est aggloméré. Le matériau est apédique fortement poreux. L'organisation est de niveau basique. Le plasma a un assemblage silasépique-argilasépique. Des vides d'entassement simple, des chambres et des cavités oblongues sont fréquentes. On observe aussi des nodules calcaires orthiques, irréguliers, oblongs à arrondis, contenant des grains de squelette. D'autres, d'oxyde de fer, moyens, sont également fréquents. Il existe du néo-calcanes très épais, à grains intégrés du squelette. Le squelette consiste en augite, en hornblende, en plagioclase, en biotite et en quartz de la taille des sables fins. Les proportions des divers éléments sont : plasma = squelette = vides.

Profil Ks. :



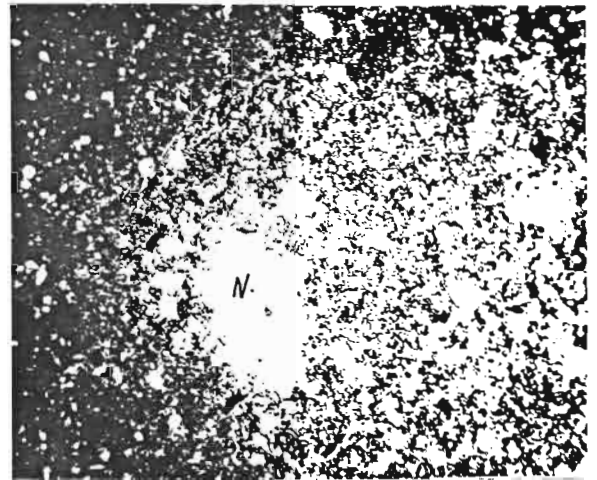
0 - 30 cm.



L.P. - 20X



30 - 90 cm.

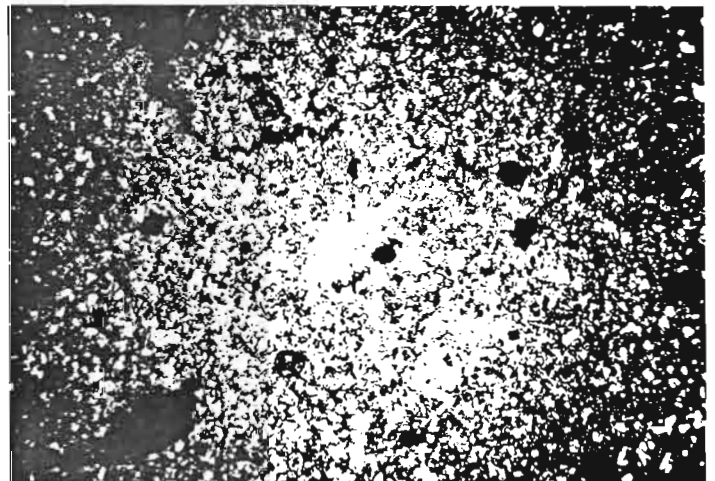


30-90 cm.

L.P. 50X

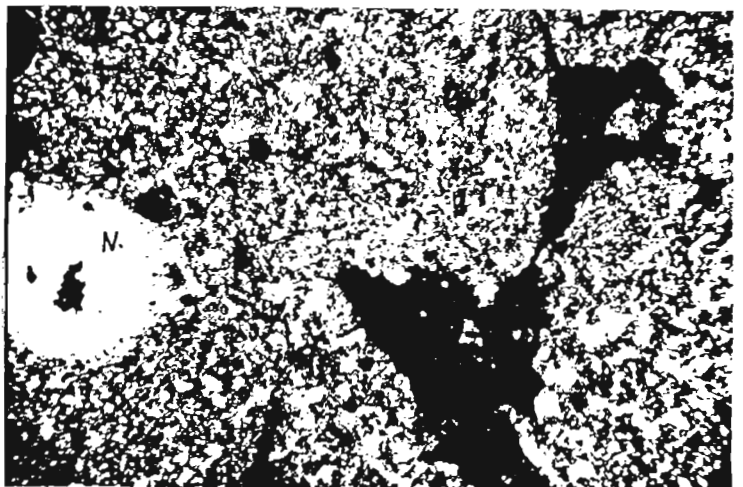


90 - 120 cm.



90-120 cm.

L.P. - 50X



90-120 cm.

L.P. - 125X

### II.3. Granulométrie et texture

#### II.3.a.- Généralités - Données bibliographiques sur la granulométrie des sols du delta.

La composition relative des matières en suspension transportées par le Nil a été étudiée par Simaika (1953), donnant le résultat suivant : 30% de sable ( $20-2\mu$ ), 40% de limon ( $2-20\mu$ ), et 30% d'argile ( $< 2\mu$ ). Simaika a montré que les sables fins ne sont pas transportés à plus de 80cm au-dessus du fond du lit de la rivière. Le limon et l'argile ont été en suspension d'une façon uniforme dans l'eau. Cela permet d'expliquer, selon lui, l'existence des sables fins dans des poches au fond du lit. Par ailleurs, tandis que les sédiments les plus fins ont été déposés sur toutes les plaines, les sables fins se déposent également en grande proportion au bord des rivières et causent la formation des bourrelets de berge.

Simaika et Ball (1939), ont étudié la granulométrie des éléments déposés par le Nil dans 3 régions (Sud-Nord) au moment de la crue.

Localisation	$> 2000 \mu$	$2000-200 \mu$	$200-20 \mu$	$20-2 \mu$	$< 2 \mu$
Wadi Halfa	-	-	24	42	34
Assouan	-	-	15	40	45
Le Caire	-	0.2	18.5	26.3	55

Sin-El-Abidine (1964) a déterminé la granulométrie de la matière en suspension du Nil au Caire pendant la période de la crue et la période d'étiage.

Période	S.G. %	S.F.%	L.%	A.%
Crue (Nil haut)	0.32	15.93	32.21	51.54
Nil bas	0,17	6.57	21.49	71.77

Simalka (1940) a estimé que la matière solide transportée en suspension par le Nil est de 100 millions de tonnes/an.

Schoonover et al. (1957) ont noté que dans les sols à l'ouest de Damanhour (à l'ouest de B. Rosetta), la texture est argileuse et argillo-limono-sableuse entre 50 et 100cm de profondeur. Ces dépôts sont situés au milieu de couches sableuses. Cela prouve qu'ils ont été déposés dans un milieu de marécages, ou l'eau stagnante.

La plus grande partie de la zone du Nord du delta a dû être formée dans la mer ou dans les lacs salés coupés de la mer par des cordons sableux. Dans cette région, des dépôts très argileux et de coquilles marines sont fréquemment observés. Le triage des matériaux est dû à l'action des vagues et du courant. (Schoonover et al. 1957).

La F A O (1964), dans son projet d'étude du Nord-delta, sur 409 800 acres (environ 186 000 ha) (Fig. 6, 6a et 6b), indique que la plus grande partie de cette région est constituée par des plaines d'argile lourde, d'origine marine, correspondant à des dépôts profonds et mal drainés. La texture du sous-sol est plus légère. Des dunes de pseudosable d'argile, de 4 à 5 mètres de hauteur, ont été formées en quelques points. La zone de la côte est couverte par des plaines de sables limoneux en surface, entrecoupées de formations dunaires sableuses qui les dominent plus ou moins. Enfin une zone de transition assez étroite existe entre la zone sableuse et la zone argileuse.

Il a été possible de classer les dépôts argileux des profils étudiés dans cette région selon leur âge en "argile récente", "argile vieille" et "argile très vieille", sans pour cela connaître la période exacte de leur dépôt. L'argile vieille a été déposée probablement pendant la période pré-Romaine où la transgression marine et l'occupation de

la région par l'homme ont eu lieu. Cela a été établi après l'étude de quelques vieux tells, dans, et sur l'argile vieille.

Labib et Seliman (1962) ont étudié la texture des sédiments de la partie Sud et de la partie Centrale du delta (Fig. 21). Ils ont conclu que : (a) L'argile fine ( $< 1\mu$ ) représente 80-90% de l'ensemble de la fraction argileuse ( $< 2\mu$ ), le limon grossier (20-50 $\mu$ ) la plus forte proportion de l'ensemble du limon. Le rapport entre le limon très fin (2-5 $\mu$ ) et le limon grossier est d'environ 1 à 6.

(b) La taille des éléments des différents sédiments du Nil est en rapport avec leur vitesse de dépôt et leur distance du fleuve et des canaux d'irrigation. (c) Dans la région étudiée, les sols sont classés selon leur texture dans l'ensemble du profil (jusqu'à 150cm de profondeur), en 3 classes :

- Argile lourde au Nord et à l'Est de la branche Damietta.
- Argile limono-sableuse dans la zone Sud entre les deux branches à l'Ouest de la branche Rosetta, et plus à l'Est de la branche Damietta.
- Sable argilo-limoneux à sable, plus à l'Est et plus à l'Ouest de la région.

Hashad et al. (1957) ont noté que les dépôts liés à la branche Rosetta ont une texture qui varie entre sable et sable limono-argileux. La texture est limon argilo-sableux dans les sols de la branche Damietta. Entre les deux branches, la texture des sols varie selon leur distance de la branche, entre limon argilo-sableux et argile limono-sableuse. Au Nord la texture devient plus ou moins lourde.

Lady (1951) a étudié les alluvions du delta à Shebin El-Kom. Il a attribué l'augmentation de l'argile en profondeur, à l'éluviation mécanique de cet élément de l'horizon de surface, sous l'influence du mouvement de l'eau d'irrigation.

Abdalla (1950) a étudié les bordures du delta avec le désert. Il a conclu qu'il y a une zone d'interférence, entre le sable désertique éolien et les alluvions du delta. Ce sable diminue de 100% à 55,9%, puis à 27,2%, et enfin à 8,5%, à des distances de 0,03, 1,0 et 2,1km, respectivement du désert vers le centre du delta.

Nous avons repris l'étude de la distribution verticale et spatiale de la texture dans les diverses parties du delta, en nous ap-

puyant sur l'analyse d'échantillons prélevés sur plusieurs mètres de profondeur dans 16 profils disposés sur 4 transects (Fig. 24). Les résultats en sont exposés ci-après :

### II.3.b.- Texture des sols étudiés.

#### Principales catégories.

Les analyses granulométriques ont été effectuées sur les échantillons qui représentent tous les profils. La granulométrie a été étudiée en détail dans le but de connaître la texture, l'origine et le mode de transport des éléments de chaque couche.

La méthode de l'ORSTOM a été appliquée sur les échantillons broyés et passés dans un tamis de 2mm.

Les fractions distinguées sont les suivantes :

- 2 000 - 200 $\mu$  : Sable grossier ;
- 200 - 50 $\mu$  : Sable fin ;
- 50 - 20 $\mu$  : Limon grossier ;
- 20 - 2 $\mu$  : Limon fin
- < 2 $\mu$  : Argile.

Les classes de texture utilisées dans notre travail correspondent à celles du diagramme ci-joint (Fig. 22).

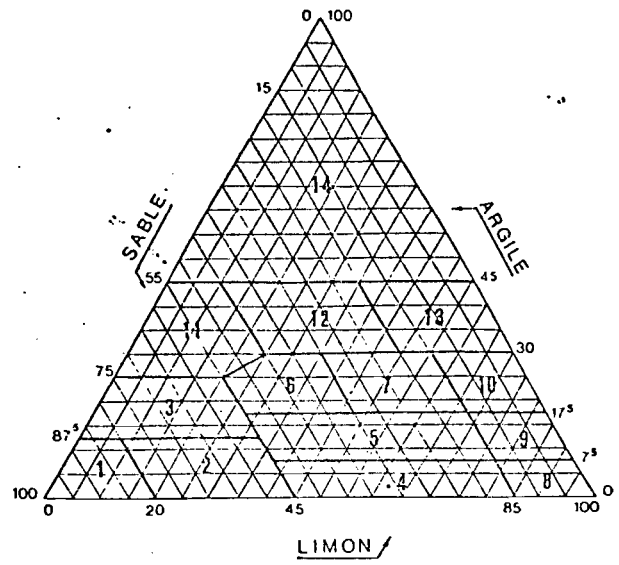
Nous avons pu classer les profils en trois groupes selon les teneurs en argile de leurs différents niveaux (Fig. 23a, 23b) :

1 - Groupe 1 : Les profils de texture argile lourde et variant plus ou moins en profondeur. Ce groupe a été subdivisé comme suit :

$I_1$  : Sols d'argile lourde verticalement homogènes jusqu'à 4 mètres de profondeur (Profils K, S<sub>1</sub> et G<sub>1</sub>).

$I_2$  : Sols moins homogènes verticalement, jusqu'à 4 mètres de profondeur et texture variant entre argile lourde et argile limoneuse (Profils B<sub>3</sub> et B<sub>4</sub>).

- S - Sable
- SL - Sable limoneux
- SA - Sable Argileux
- LLS - Limon léger sableux
- LMS - Limon moyen sableux
- LSA - Limon sablo-argileux
- LAS - Limon argilo-sableux
- LL - Limon léger
- LM - Limon moyen
- LA - Limon argileux
- AS - Argile sableuse
- A - Argile
- AL - Argile limoneuse
- ALO - Argile lourde



- |         |          |
|---------|----------|
| 1 - S   | 8 - LL   |
| 2 - SL  | 9 - LM   |
| 3 - SA  | 10 - LA  |
| 4 - LLS | 11 - AS  |
| 5 - LMS | 12 - A   |
| 6 - LSA | 13 - AL  |
| 7 - LAS | 14 - ALO |

FIG. 22 - Diagramme de classification détaillée des textures

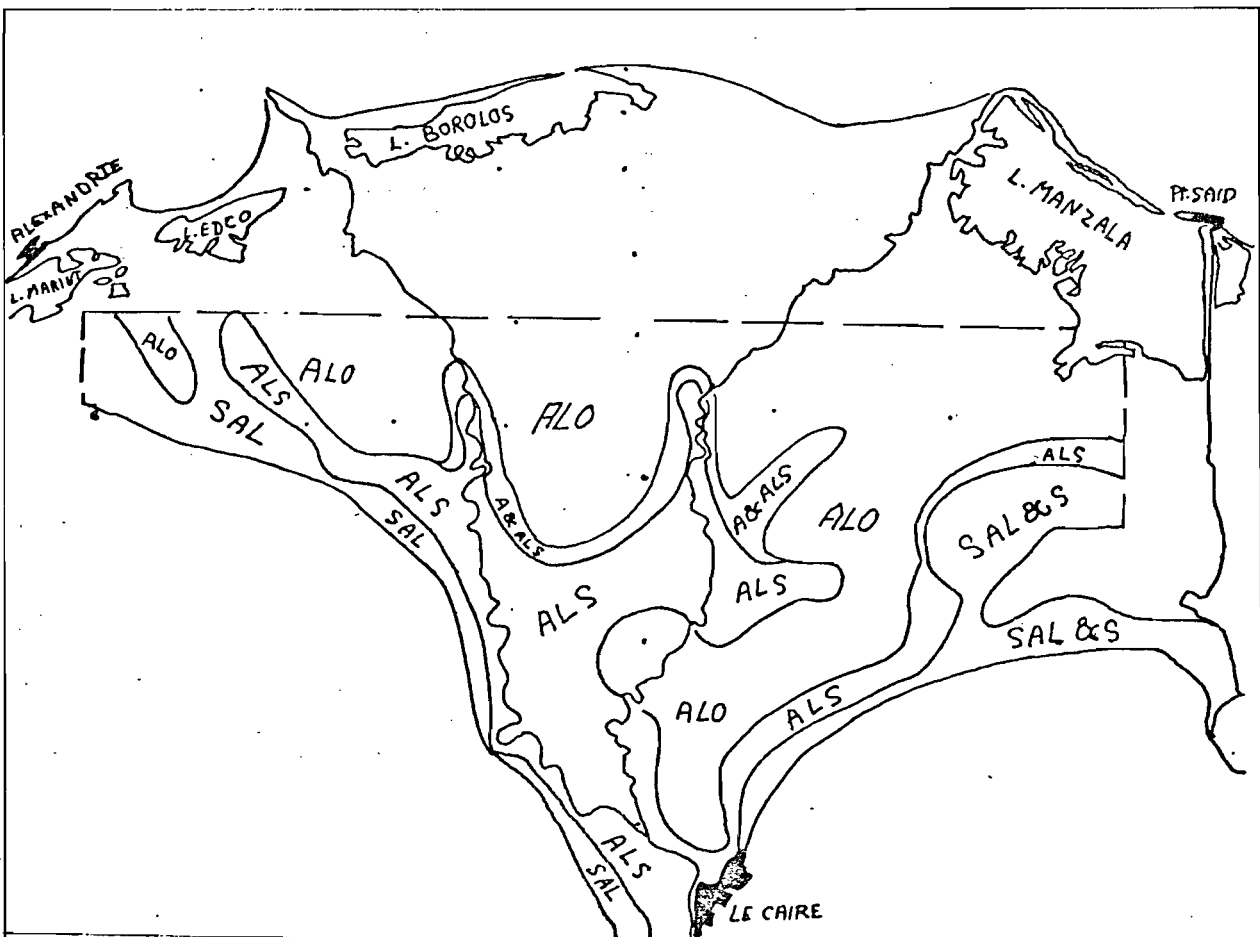


FIG. 21 : TEXTURE DES SOLS BASEE SUR LA TEXTURE DANS L'ENSEMBLE DES PROFILS (d'après Labib et al. 1965)

Fig 23 b: groupe II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub> et III

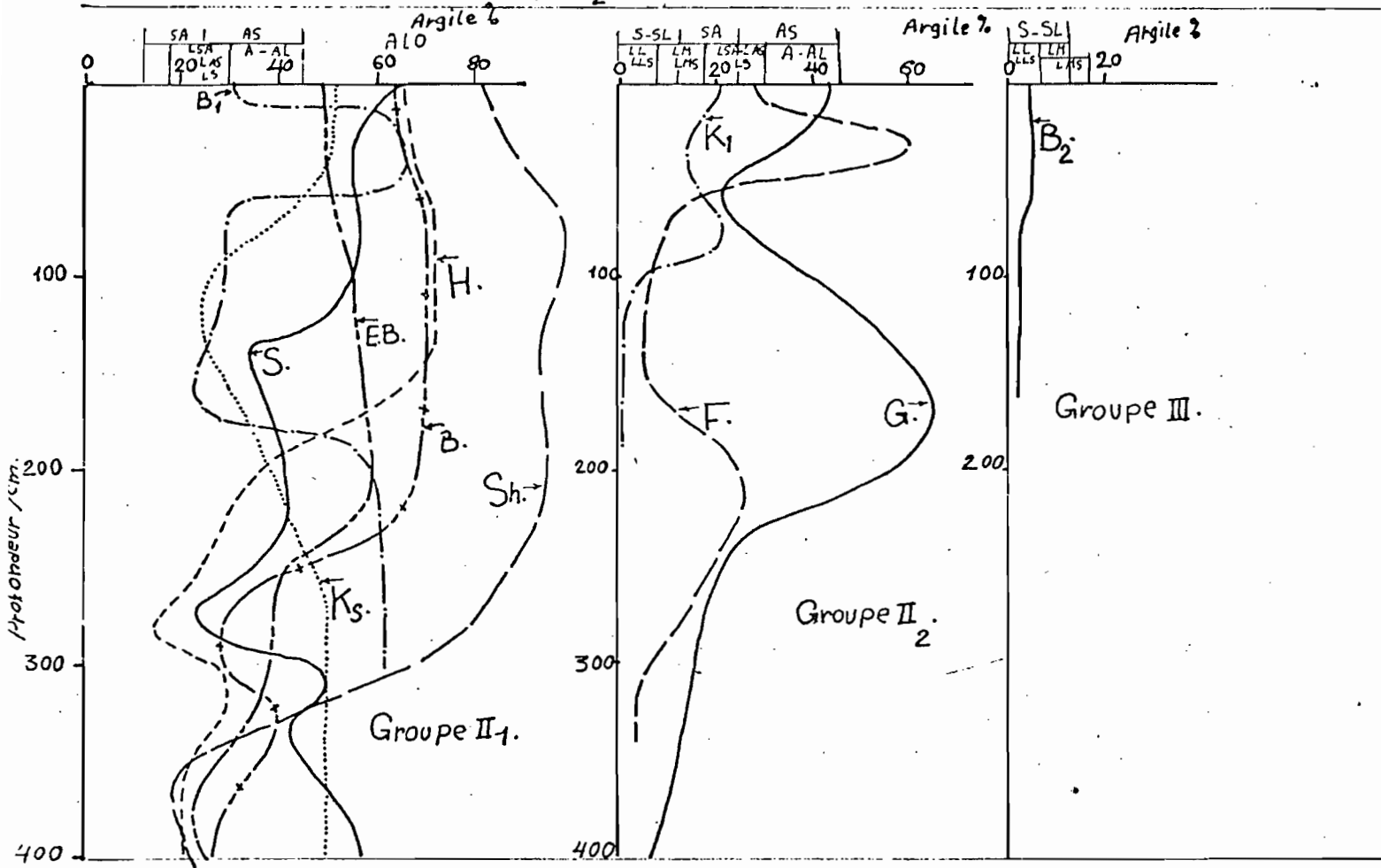
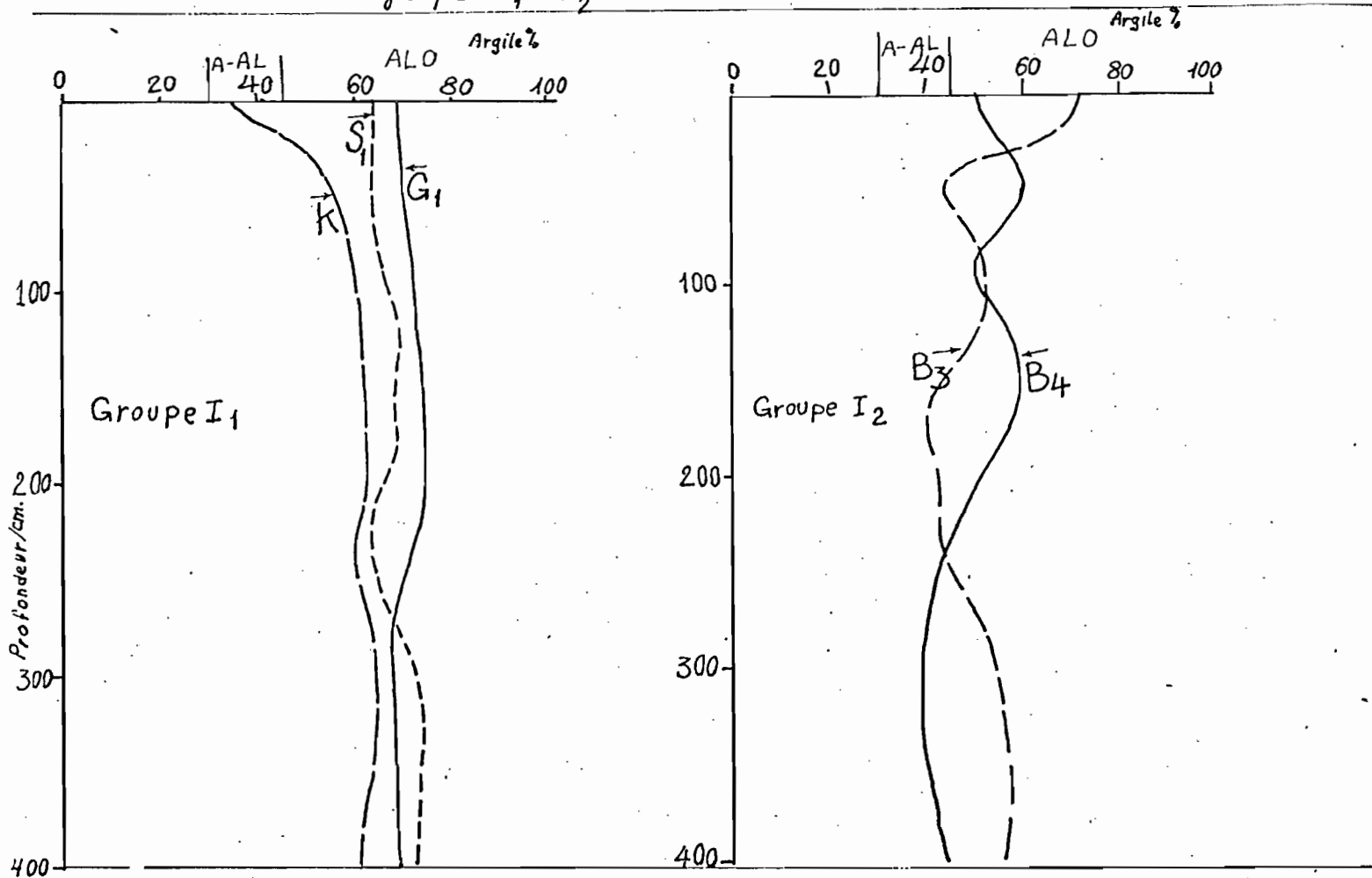


Fig 23 a: Les groupe des profils selon leur texture, groupe I<sub>1</sub> et I<sub>2</sub>



## 2 - Groupe II

$II_1$  : Sols non homogènes verticalement jusqu'à 4 mètres de profondeur et variant entre argile lourde et sable argileux (Profils  $S_h$ , H, EB, S, B,  $B_1$  et  $K_s$ ), en fonction de la profondeur.

$II_2$  : Sols de texture très variée verticalement allant de l'argile lourde au sable (Profils  $K_1$ , F et G).

3 - Groupe III . Sols de texture sableuse dans l'ensemble du profil. Parmi ceux que nous avons étudiés, un seul  $B_2$  appartient à ce groupe.

### - Répartition de ces groupes texturaux dans l'ensemble du delta.

Les figures 24 A, 24 B, 24 C et 24 D montrent les variations de la texture en profondeur dans les quatre transects étudiés et la répartition des groupes précédemment définis.

#### 1 - Le premier transect (Y $\bar{Y}$ ) de Sud au Nord (Fig. 24 A) :

- Profil  $K_1$ , situé à la pointe du delta. Il a une texture nettement différente en profondeur par rapport à celle de la surface. Il appartient au groupe  $II_2$  ; en général, la texture est limoneuse de 0 à 1,45 mètre et ensuite une couche épaisse de sable apparaît jusqu'à plus de 2,2 mètres.

- Profil  $K_2$ , à environ 40 km au nord de  $K_1$ . Il a une texture d'argile lourde dans l'ensemble du profil. Il est très homogène verticalement (groupe  $I_1$ ), sauf la couche de surface qui paraît avoir été contaminée par des grains de sables grossiers quartzeux arrondis. Cette particularité s'explique par l'existence des "dos de tortues" à 4 km à l'Est - Sud-Est. Les grains de sable peuvent avoir été transportés par simple coluvionnement, mais peut-être également sous l'action de l'eau d'irrigation. On en trouve aussi en effet au fond des canaux.

- Profil G, situé à environ 30 km au nord du profil K. Il appartient au groupe  $II_2$ . Il présente en effet une texture très variée en profondeur : argile limoneuse en surface, ensuite limon argilo-sableux sur argile lourde. La texture recommence à être plus légère en profondeur ; elle correspond à du limon et à du sable. Cela indique probablement des changements de position du fleuve.

- Profil S, à environ 25 km au nord du profil G. Il est du groupe  $II_1$ . Sa texture encore assez variée, l'est cependant moins que dans le cas précédent. Elle se place en général dans les classes d'argile et d'argile lourde à travers le profil, sauf de 2,5 à 3 mètres de profondeur où elle correspond à un limon argilo-sableux. Cette couche indique l'extension du sédiment limoneux amené par la crue d'une branche qui y existait il y a environ 30 siècles (d'après la vitesse de sédimentation actuellement estimée à 0,9mm/an). Cette branche devait se trouver plus proche du profil B, qui le suit plus au nord.

- Profil B, qui se trouve à 17 km au nord du profil S. Ce profil (Groupe  $II_1$ ), a une texture d'argile lourde de 0 à 1,2 mètre sur une couche d'argile jusqu'à 3 mètres ; ensuite apparaît une couche plus légère de limon argilo-sableux dans laquelle existe une passée lenticulaire plus lourde d'argile limoneuse.

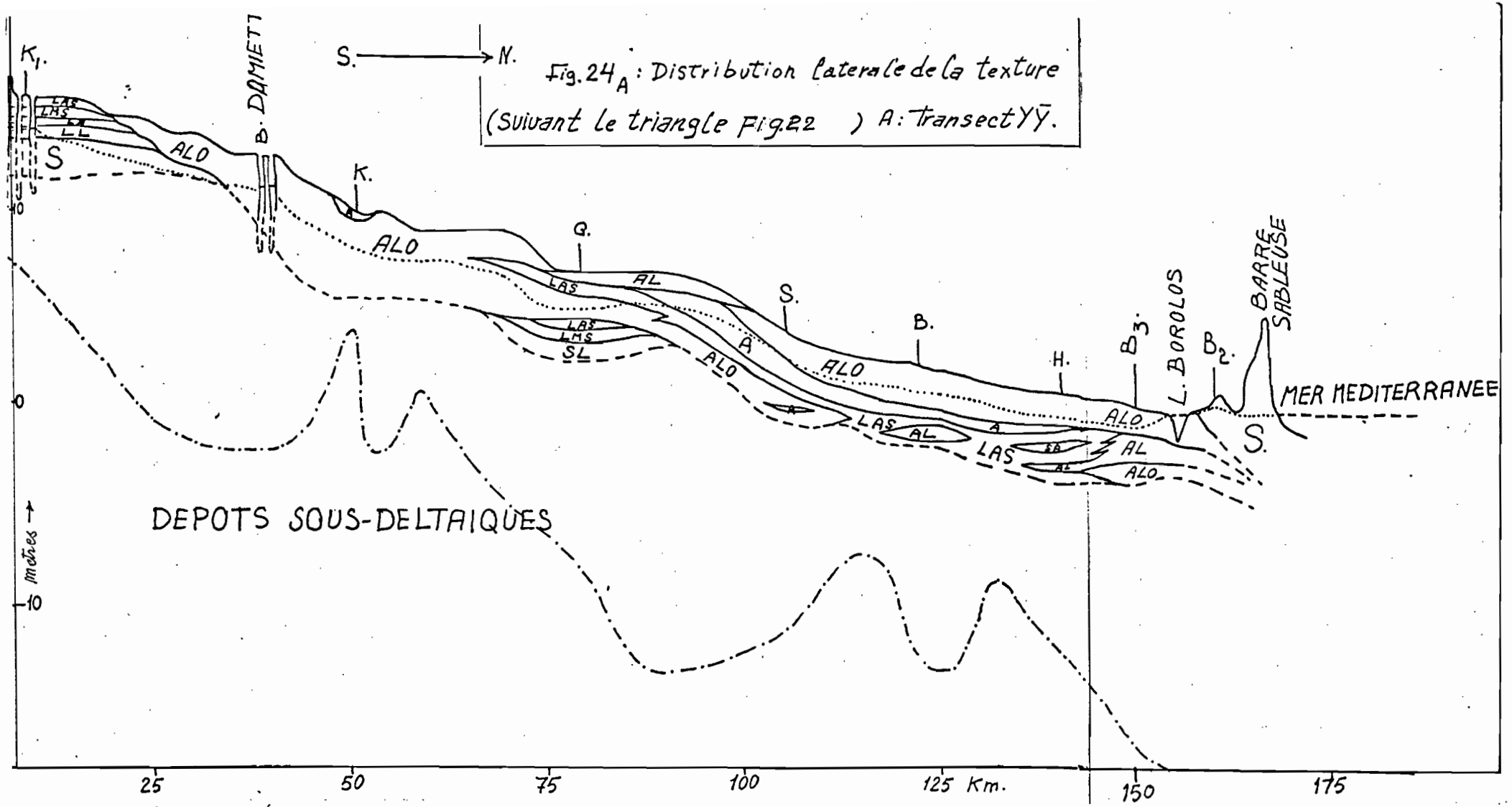
- Profil H, situé à environ 18 km au nord du profil précédent. Ce profil, (Groupe  $II_1$ ), a une texture également d'argile lourde de 0 à 180 cm, puis d'argile jusqu'à 2m. où commence une succession de couches diverses qui se poursuivent jusqu'à 4 mètres de profondeur : limon argilo-sableux, sable argileux (en forme lenticulaire), de nouveau limon argilo-sableux, puis argile limoneuse et limon sablo-argileux.

- Profil B<sub>3</sub>, à 4 km au sud du lac Borolos (Groupe  $I_2$ ). Dans l'ensemble de ce profil la texture est d'argile lourde, mais entre 1,6 et 2,6 mètres elle devient plus légère (argile limoneuse). Cette dernière couche peut être considérée comme reliée à l'extension d'une ancienne branche située plus à l'ouest et qui sera indiquée à propos du profil  $S_h$  sur le transect  $Y_1\bar{Y}_1$ .

- Profil B<sub>2</sub>, situé à 200 mètres au nord du lac Borolos. Il appartient au groupe III. La texture dans ce profil est sableuse dans son ensemble jusqu'à 1,8 mètre. Il représente les cordons sableux de la côte.

2 - Le deuxième transect ( $Y_1\bar{Y}_1$ ), comprend du Sud au Nord (Fig. 24D) :

- Profil B<sub>4</sub> (Groupe  $I_2$ ), situé à 5 km à l'est de la branche Rosetta. La texture varie d'argile lourde, de 0 à 2,5m, à argile limoneuse de 2,5 à 4 mètres.



--- Limite inférieure des profils... étudiés  
 - - - - Limite supérieure du dépôt des graviers et des sables sous deltaïques  
 ..... Le niveau de la nappe phréatique en Janvier 1975.

Fig. 24 B: Transect X $\bar{X}$

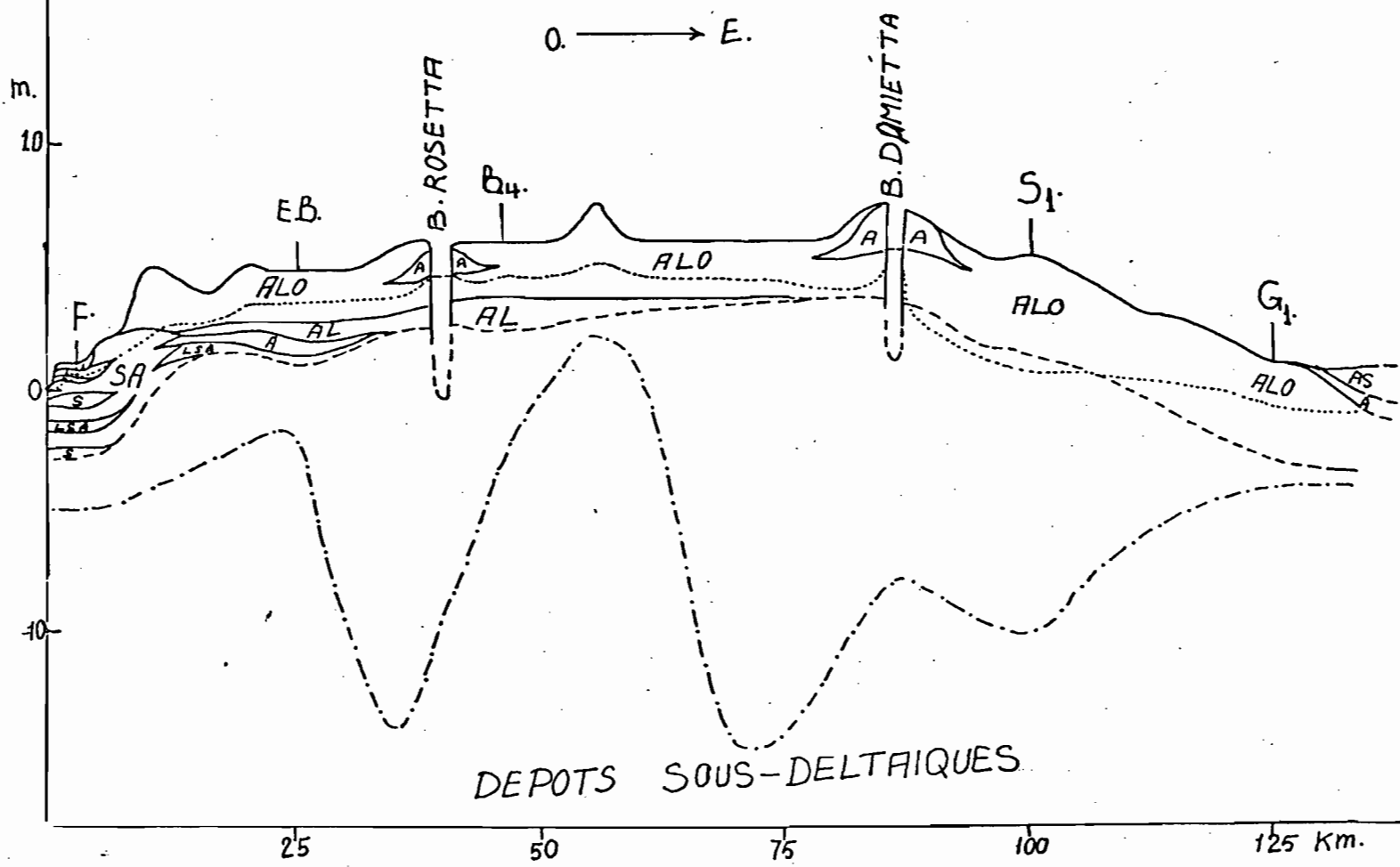
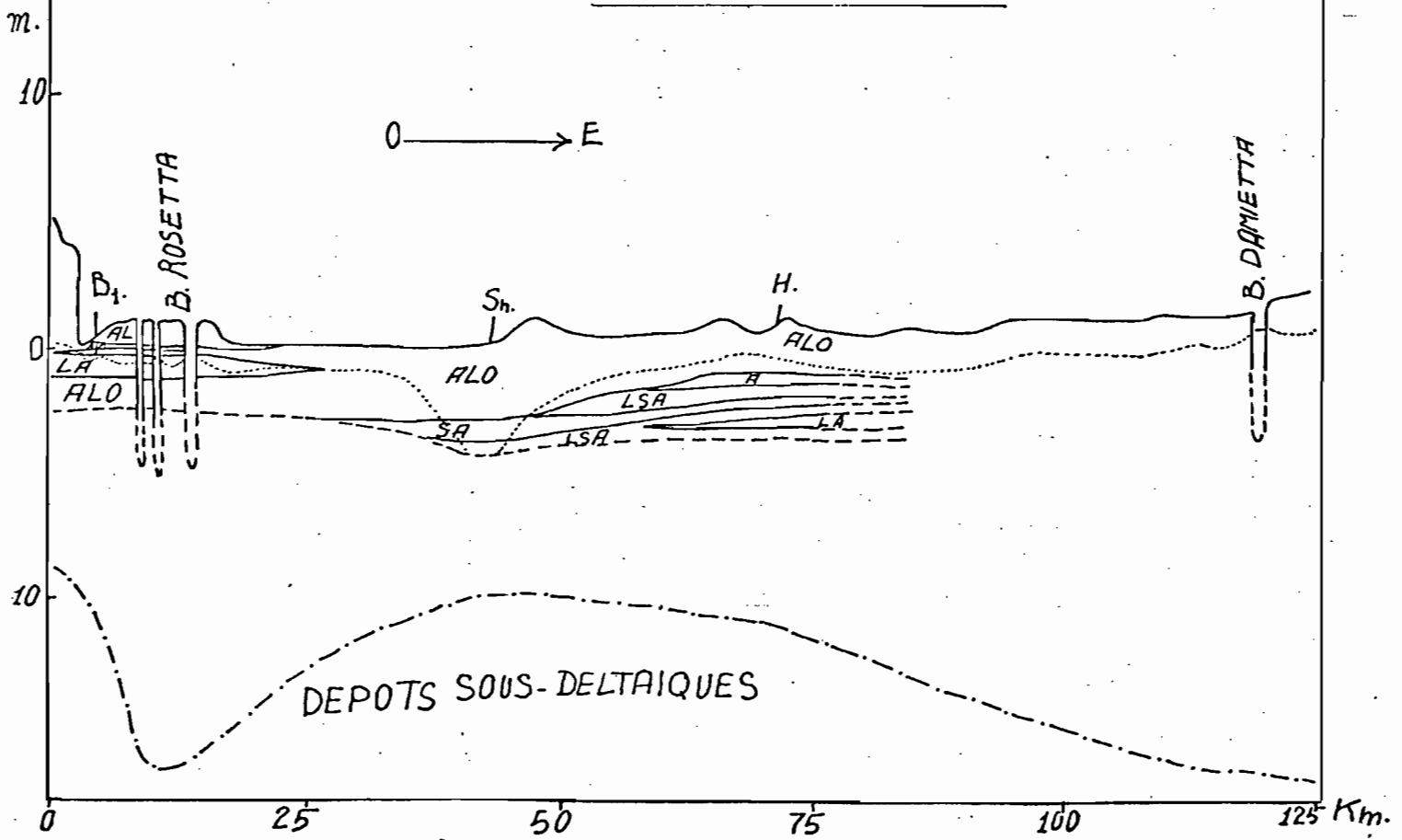


Fig. 24 C: Transect X $\bar{X}_1$



- Profil K<sub>S</sub> à 23 km au nord du profil B<sub>4</sub>. Il fait partie du groupe II<sub>1</sub>. La texture varie verticalement d'argile lourde jusqu'à 1m. à limon argilo-sableux, puis argile limoneuse, et revient à argile lourde plus profondément de 2,3 mètres à 4 mètres. Cela indique l'existence d'une ancienne branche en cet endroit (dépôt plus léger qu'argile lourde de 1m. à 2,3m.)

- Profil Sh, à 33 km au nord du profil K<sub>S</sub> et à 2 km au sud du lac Borolos. Il appartient au groupe II<sub>1</sub>. L'observation de ce profil indique deux couches séparées par une troisième, riche en matière organique (16%). La première de 0 à 3 mètres est une argile lourde, la seconde est beaucoup plus légère (sable argileux sur limon sablo-argileux). Cette dernière correspond, très probablement à des dépôts constituant d'anciennes levées de bord de cours d'eau. Ces dépôts ont été enterrés sous la couche d'argile lourde. Ce profil est probablement dû à une sédimentation de type polyphasé qui sera expliquée plus loin.

3 - Le troisième transect (XX) ; de l'ouest à l'est on trouve (Fig.24B :

- Profil F, à 42 km à l'ouest de la branche Rosetta. Il appartient au groupe II<sub>2</sub>. La texture de ce profil est très variée avec la profondeur : limon argileux, argile lourde, argile, sable argileux, limon sablo-argileux, sable argileux et, enfin, sable. La stratification de ce profil indique un mélange entre les dépôts deltaïques et les dépôts désertiques venant de l'ouest, surtout dans les couches supérieures où le matériau est calcaire (12-35%).

- Profil E.B. (Groupe II<sub>1</sub>), à 15 Km à l'ouest de la branche Rosetta et à 27 km à l'est du profil F. La texture est légèrement variée en profondeur : argile lourde de 0 à 2,3m., ensuite argile limoneuse, argile et enfin limon sablo-argileux.

- Profil B<sub>4</sub> à 22 Km du profil EB. Il ressemble au profil EB (jusqu'à 250 cm de profondeur), et montre une extension horizontale de ces couches vers l'Est.

- Profil S<sub>1</sub>, à 13 km à l'est de la branche Damietta. Ce profil présente une uniformité verticale de la texture qui est d'argile lourde sur tout l'ensemble. Il appartient au groupe I<sub>1</sub>.

- Profil G<sub>1</sub>, à 25 km à l'est du profil S<sub>1</sub>. Il montre l'extension de la même couche d'argile lourde homogène sur 4 mètres d'épaisseur, indiquée dans le profil précédent.

4 - Quatrième transect : (X<sub>1</sub> X̄<sub>1</sub>) ; de l'ouest vers l'est (Fig. 24C), il comporte :

- Profil B<sub>1</sub> (Groupe II<sub>1</sub>), situé à 4 km à l'est du lac Edco et à 6 km à l'ouest de la branche Rosetta. La texture de ce profil varie avec la profondeur ; elle passe d'argile limoneuse à argile lourde et argile sur limon argileux et revient ensuite vers 1,80m. à argile lourde. Cela indique probablement une stratification de types fluvial et fluvio-marin dans cette région située entre le fleuve et le lac. Des coquilles marines ou lagunaires sont en grande abondance vers 0,6 mètre de profondeur.

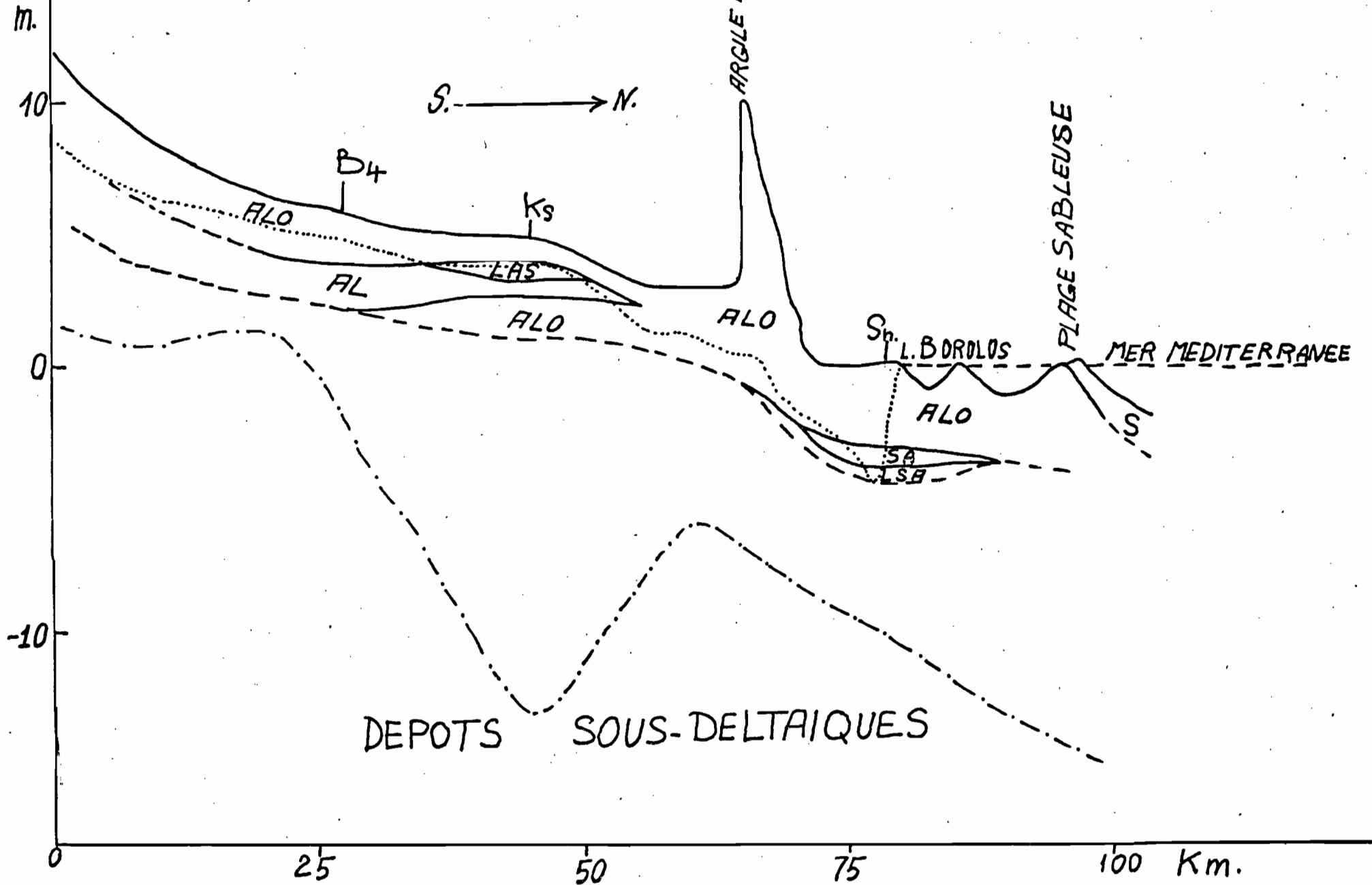
- Profil S<sub>h</sub>, à 38 km à l'est du profil B<sub>1</sub>. [ce profil est expliqué dans le transect (Y<sub>1</sub> Ȳ<sub>1</sub>)]. Il montre des dépôts fluvio-marins d'argile lourde riche en coquilles sur des dépôts fluviaux beaucoup plus légers.

- Profil H, à 33 km à l'est du profil S<sub>h</sub>. Dans ce profil du groupe II<sub>1</sub>, la couche supérieure d'argile lourde devient beaucoup plus mince que celle du profil S<sub>h</sub>. Cela signifie que le profil H est plus proche de l'ancienne branche du fleuve indiquée précédemment.

#### - Analyses statistiques sur les résultats de la granulométrie.

Les figures (25 et 25a) montrent les distributions des échantillons étudiés dans les classes différentes de texture. Dans la classe de l'argile lourde se trouvent 53,4% des échantillons, 14,9% dans les classes argile et argile limoneuse, 21,6% dans les classes, limon léger, limon sableux, limon moyen, limon moyen sableux, limon sablo-argileux, limon argilo-sableux et limon sableux, et enfin 10,1% dans les classes : sable, sable argileux et sable limoneux.

Fig. 24 D. Transect  $\bar{Y}_1\bar{Y}_1$



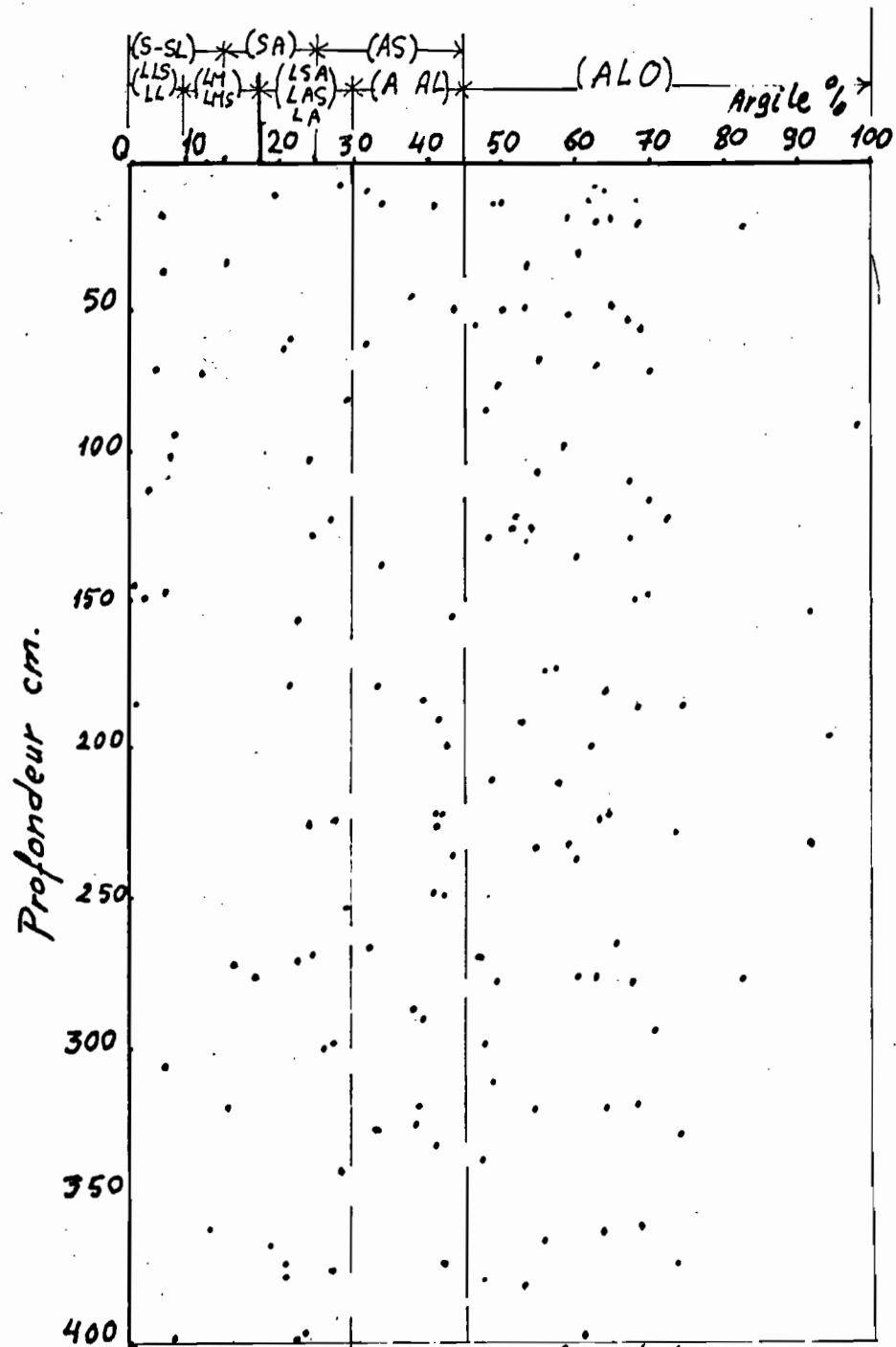


Fig.25 : La distribution de Tous les échantillons dans les classes différentes de texture.

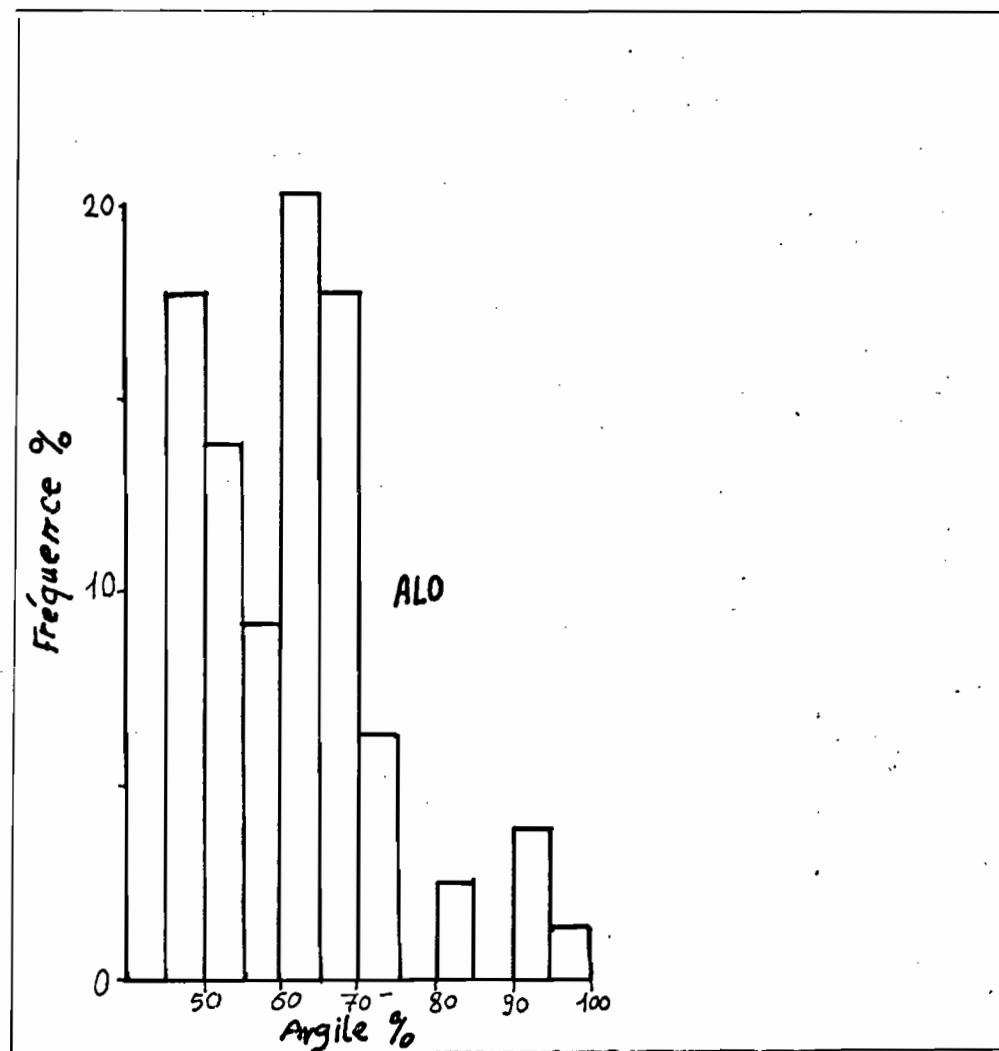


Fig.25<sub>2</sub> : La distribution des échantillons de la classe d'argile lourde.

Il paraît nécessaire d'étudier plus en détail la distribution des échantillons de la classe lourde en fonction de leurs pourcentages d'argile (Fig. 23). Nous avons calculé que 47% des échantillons ont de 60 à 75% d'argile, 43% des échantillons ont de 45 à 60% d'argile et 10% des échantillons ont de 80 à 100% d'argile.

### II.3.c. - Etude des modes de dépôt des sédiments.

Différentes méthodes d'étude statistique de la répartition des éléments granulométriques des sédiments permettent de proposer certaines hypothèses sur leur origine et leur mode de transport.

En fonction du diamètre  $d$  (en  $\mu$ ) des particules, un paramètre  $\phi$  a été défini par Griffiths (1967) tel que  $d = 2^{-\phi}$ . Pour chaque échantillon une courbe cumulative peut-être établie en inscrivant en ordonnées et abscisse les valeurs de  $d$  ou du  $\phi$  correspondant (échelle logarithmique pour  $d$  et arithmétique pour  $\phi$ ). Griffiths a défini en fonction de  $\phi$  un certain nombre de paramètres dont la considération peut apporter divers renseignements sur l'origine et le mode de transport des matériaux étudiés.

a - Médiane en Phi ( $Md\phi$ ) : c'est le diamètre en valeur de Phi pour le point de la courbe cumulative correspondant à 50% des particules. La valeur correspondante de  $d$ ,  $Md$  obéit à l'équation :  $\log Md = 0,30103 Md\phi$ . Si  $Md\phi > 4$  les particules ont été transportées en suspension ; entre 0 et 4 en saltation et  $< 0$  par roulage.

b - Triage ou déviation des pourcentages en Phi :

Le triage est un paramètre utilisé pour indiquer le mode de dépôt des matériaux sédimentaires. Il est défini par Griffith par la formule suivante :

$$PD\phi = \frac{P_{10}\phi - P_{90}\phi}{2} \quad P_{10}\phi = \text{diamètre en unité de Phi correspondant à 10\% de grains sur la courbe cumulative et } P_{90}\phi \text{ à 90\%}.$$

Si  $PD\phi$  est entre 2 et 4 les sédiments ont été déposés dans un milieu aqueux, de quelque type que ce soit, fluvial, marin, lacustre etc... Si  $PD\phi$  est  $< 2$  le mode de transport a été éolien et s'il est  $> 4$  il a été de type gravitaire colluvial, glaciaire, etc... Le coefficient de

trriage So utilisé par Trask se relie au coefficient de triage de Griffith par la relation :  $\text{Log } S_o = 0,30 + 103 \text{ PD}\emptyset$ .

Nous avons appliqué les paramètres précédents à l'étude des échantillons des différents profils observés. Les figures suivantes (de 26 à 42) indiquent leurs positions sur le graphique de Griffiths (1967). Nous indiquerons successivement ci-dessous, pour les différentes couches de chacun des profils les conclusions que nous pouvons tirer :

- Le Profil Sh qui se trouve à 2 km au sud du lac Borolos a probablement deux cycles de sédimentation : le premier est aqueux de 3,4 à 4,2 mètres de profondeur, le deuxième est éolien de 0 à 3 mètres de profondeur. Entre les deux couches existe un niveau riche en matière organique et épais de 40 cm. Ceci indique qu'il a existé dans cette région, à l'époque correspondant à ce niveau, et sous une humidité suffisante, une forte végétation. Les premiers sédiments et les dépôts organiques suivants ont été recouverts par des éléments argileux (pseudosable salé) transportés par le vent et redéposés parfois même en milieu aqueux (pendant l'extension du lac) et d'autres fois en milieu plus sec. L'existence de coquilles lacustres de 40 à 130 cm est la preuve d'une de ces extensions du lac ; la présence de dunes argileuses qui se sont maintenues dans la région montre l'origine possible de ces dépôts éoliens argileux.
- Profil K, situé à la pointe du delta. Il est constitué par des couches non homogènes. De 0 à 75 cm. Une couche d'origine aqueuse (PD $\emptyset$  de 2 à 4) existe sur une couche éolienne analogue au loess (PD $\emptyset$  de 0 à 2) et enfin une couche sableuse d'origine aqueuse en profondeur (de 120 à 220 cm). Le triage éolien dans la couche de 75-120 cm indique une période où le fleuve n'alluvionnait pas dans cette zone de la pointe du delta soumise, par contre, à des apports éoliens.
- Dans le profil K, qui est situé à environ 4 km du "dos de tortue" sableux, l'échantillon de la surface a une valeur de PD $\emptyset$  supérieure à 4. Cela indique un mauvais triage ou un apport par colluvionnement d'éléments étrangers. Les observations macro et micromorphologiques indiquent l'existence de grains de sables grossiers arrondis, sans rapport avec l'ensemble du matériau de l'horizon qu'ils contaminent, mais analogues à ceux du "dos de tortue". Le reste du profil, argileux, très homogène, présente des par-

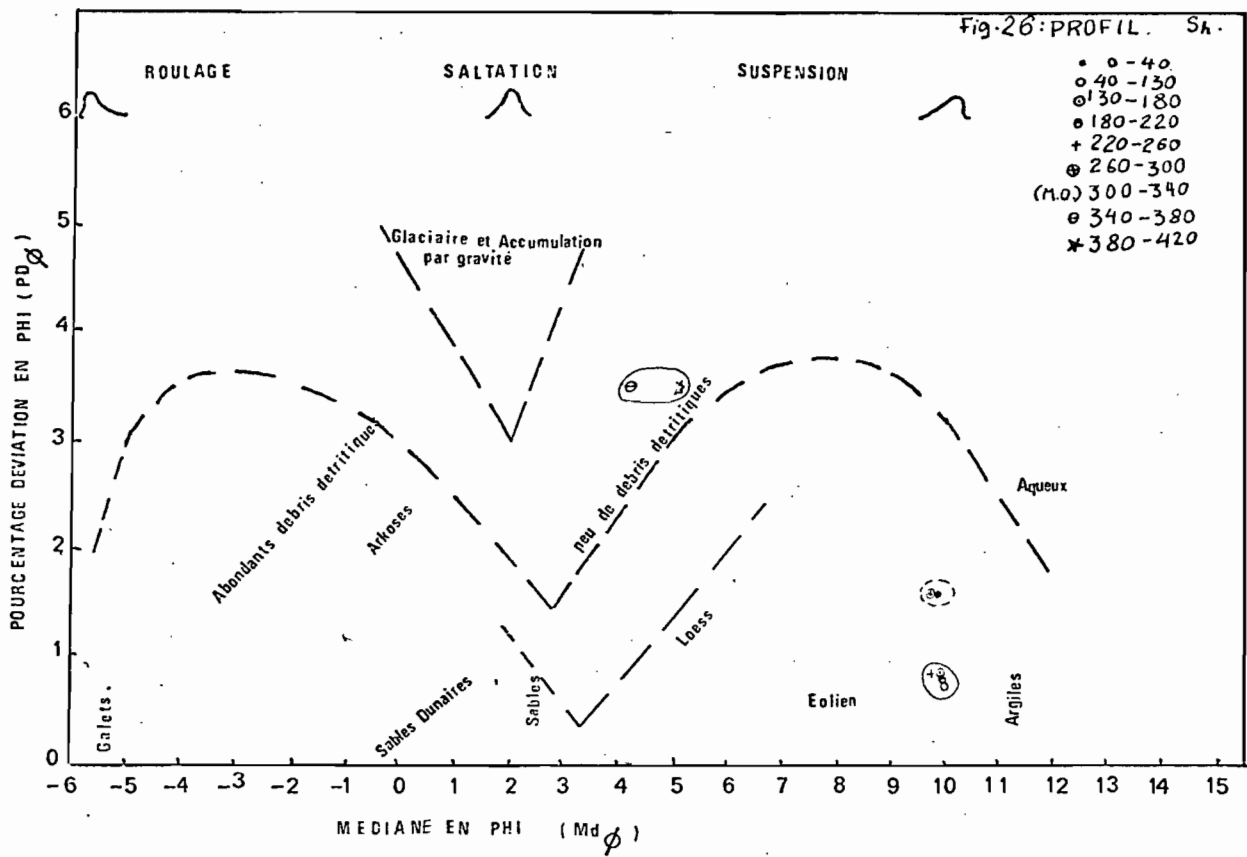
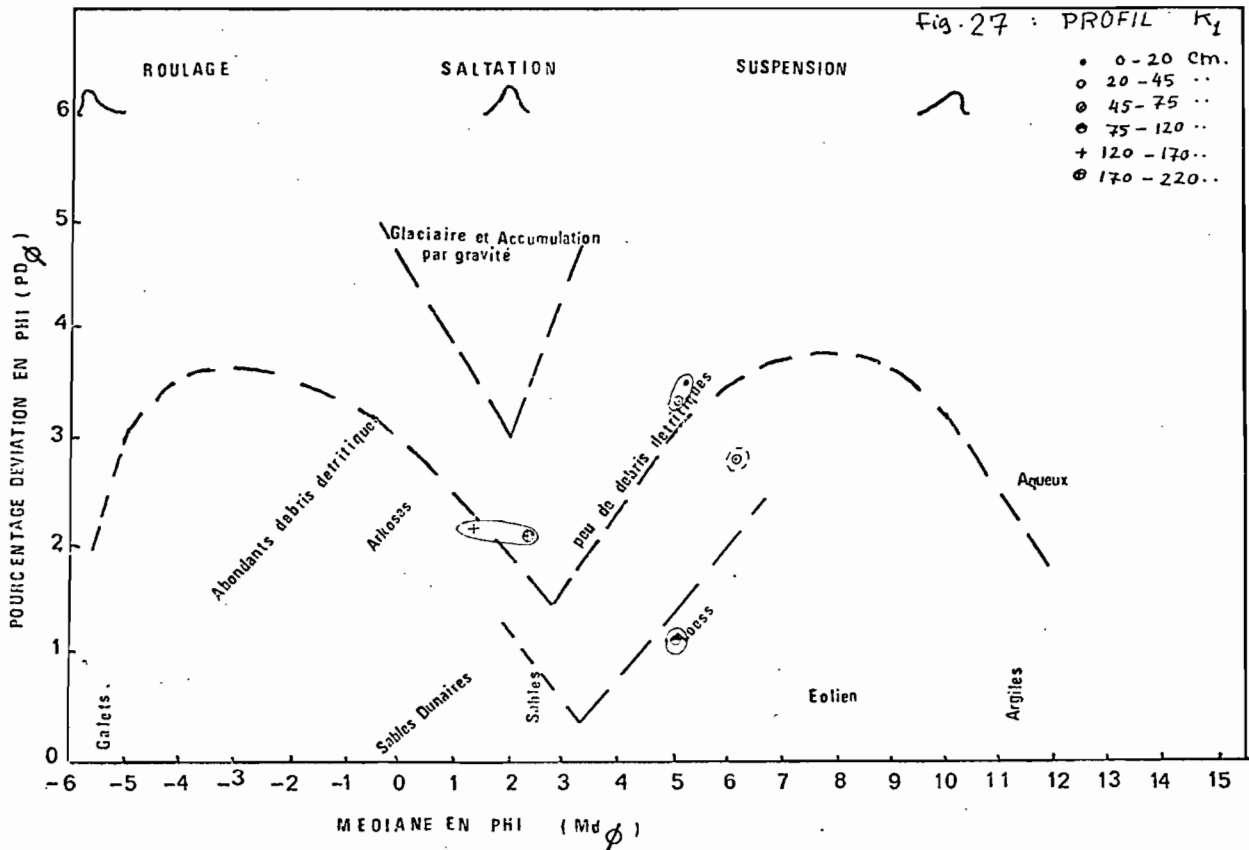
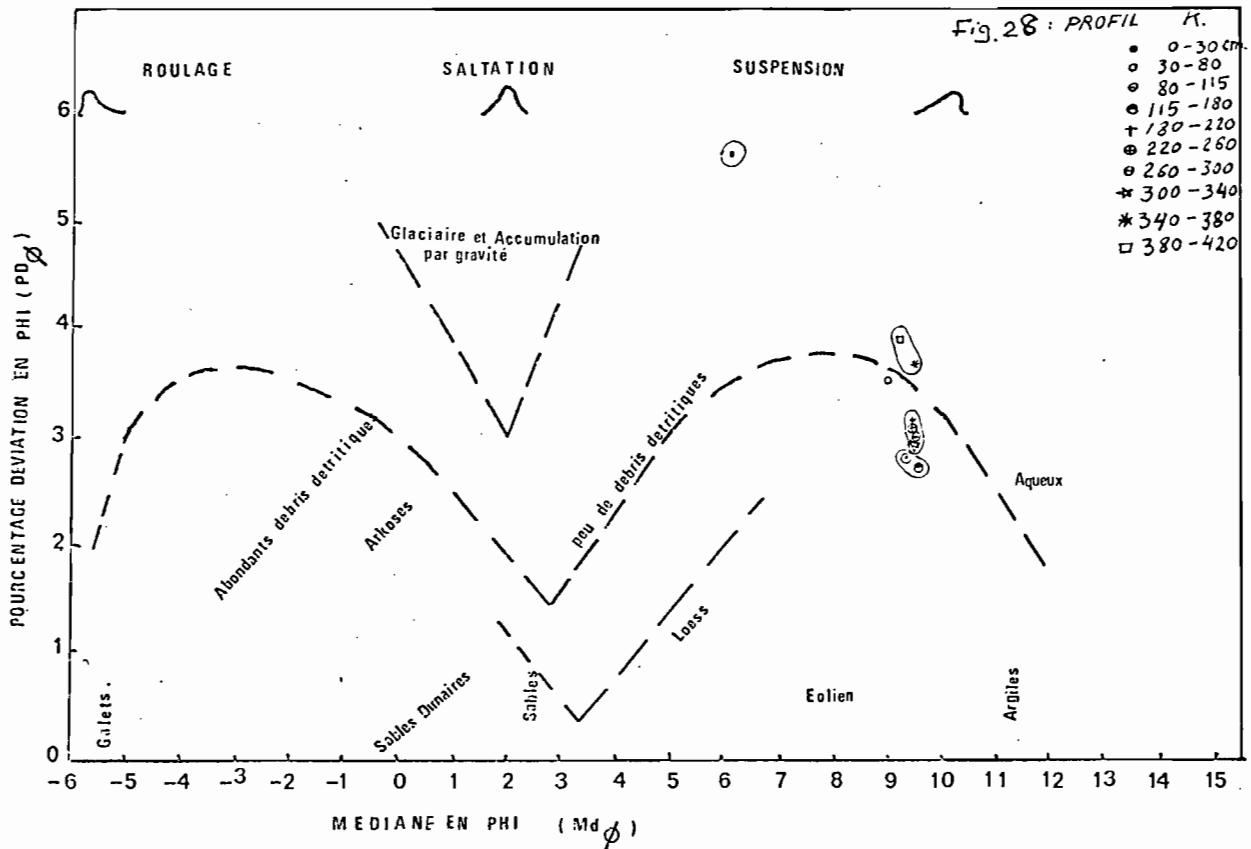
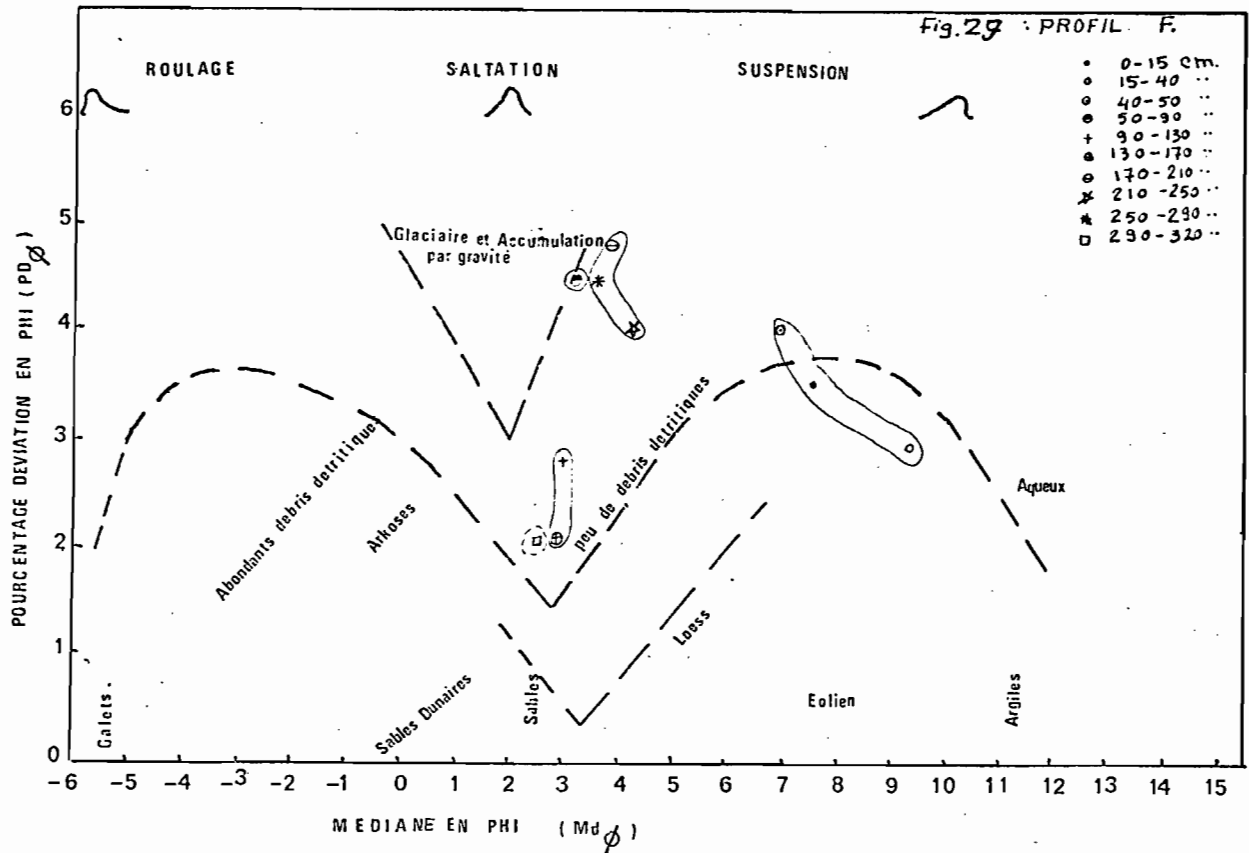
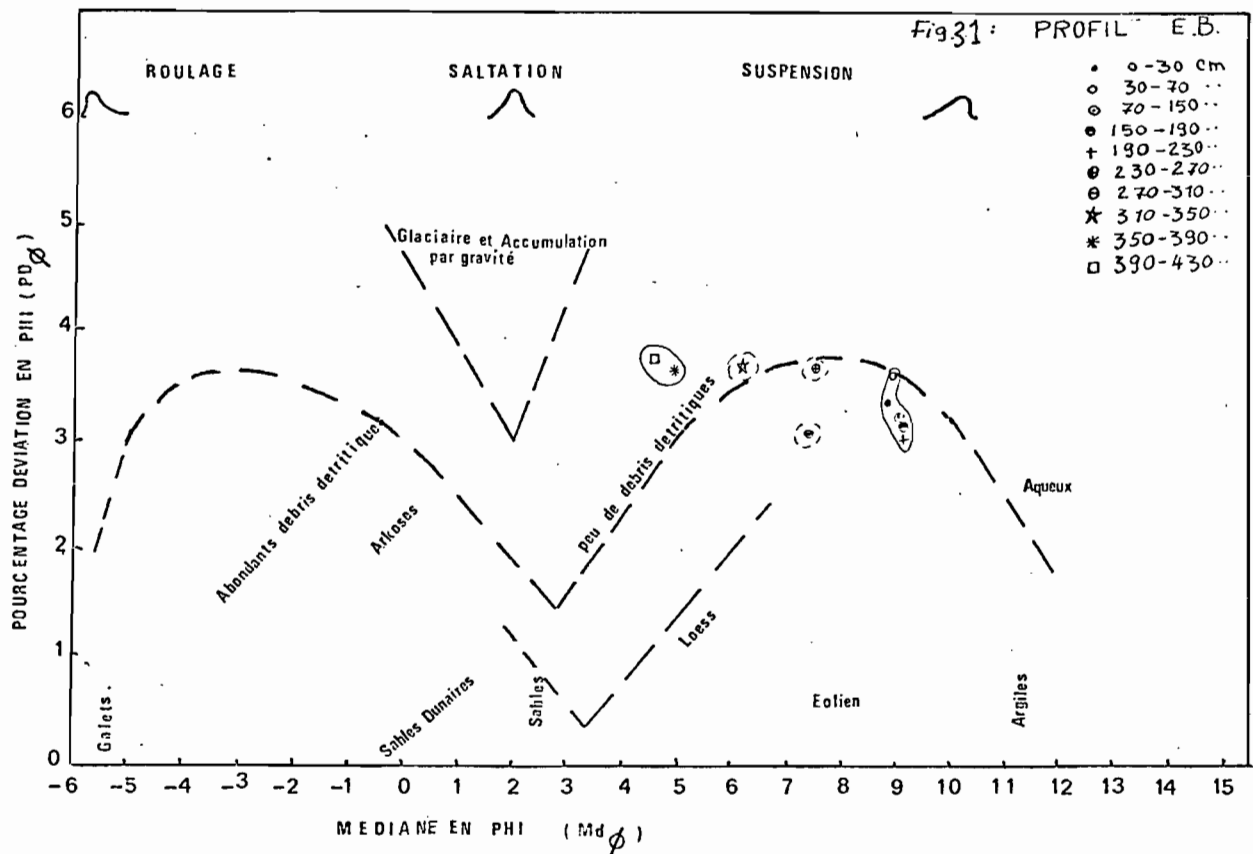
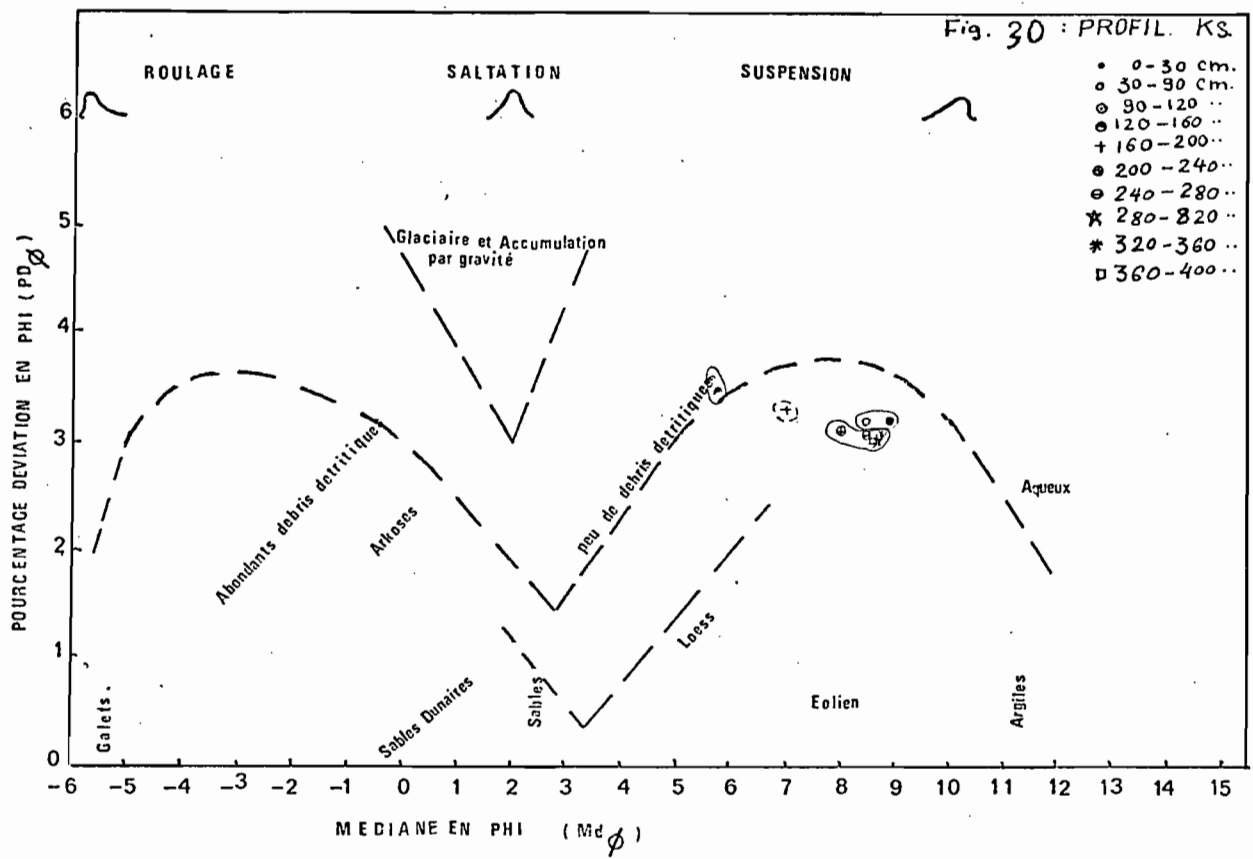
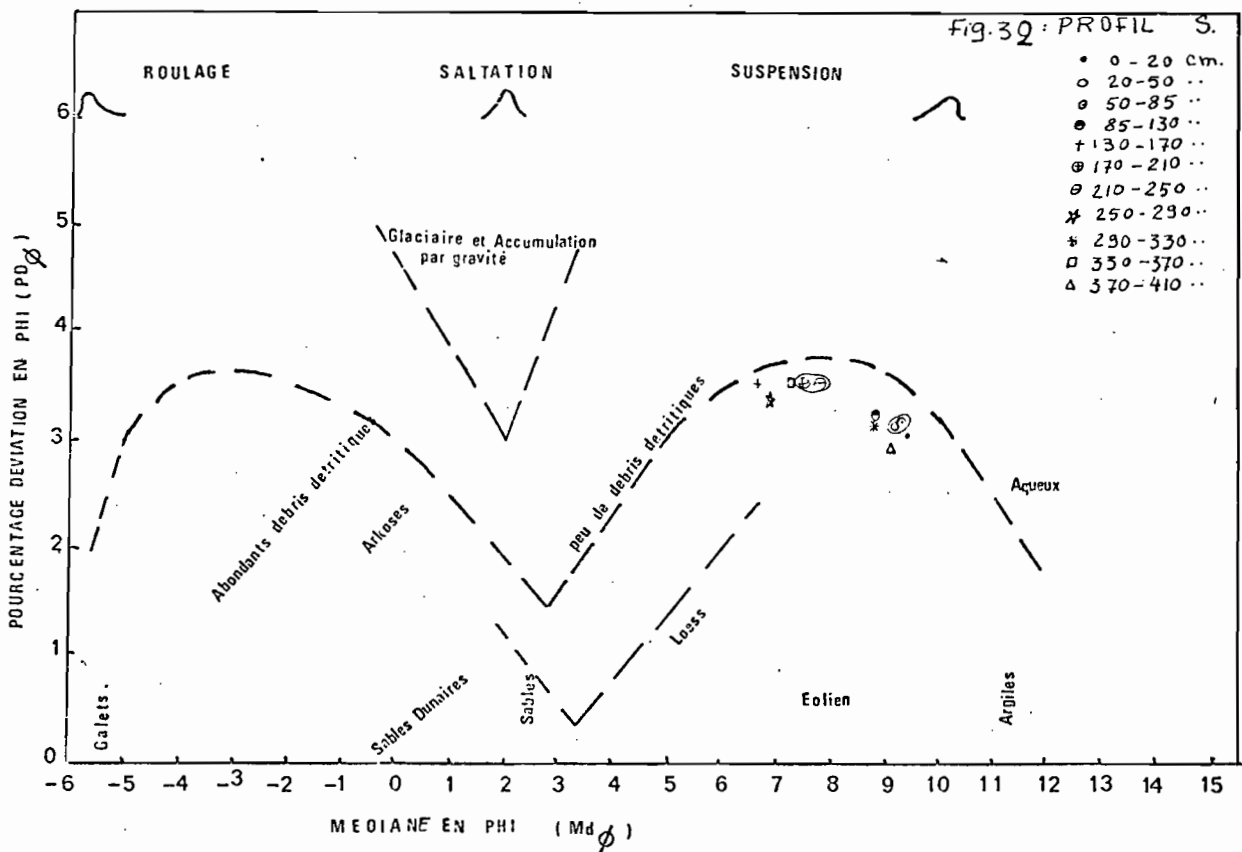
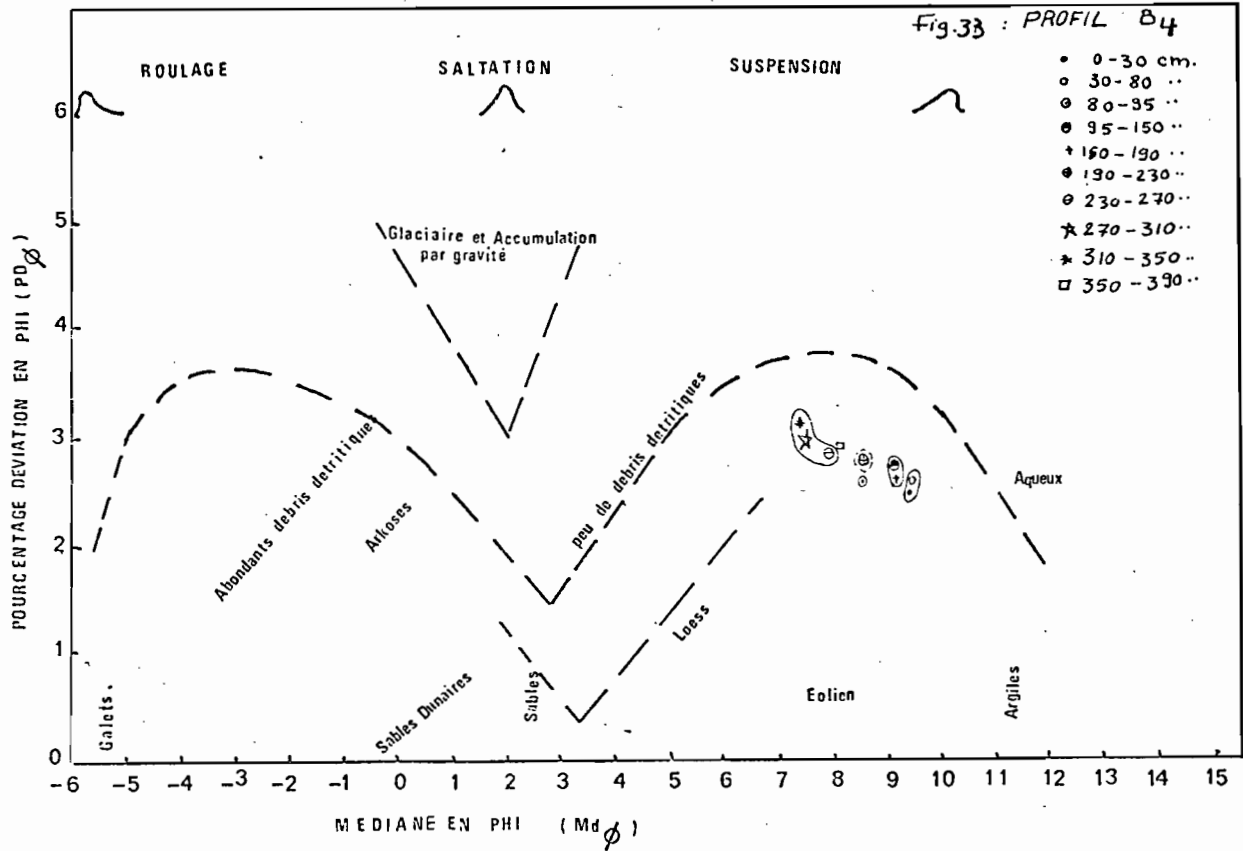


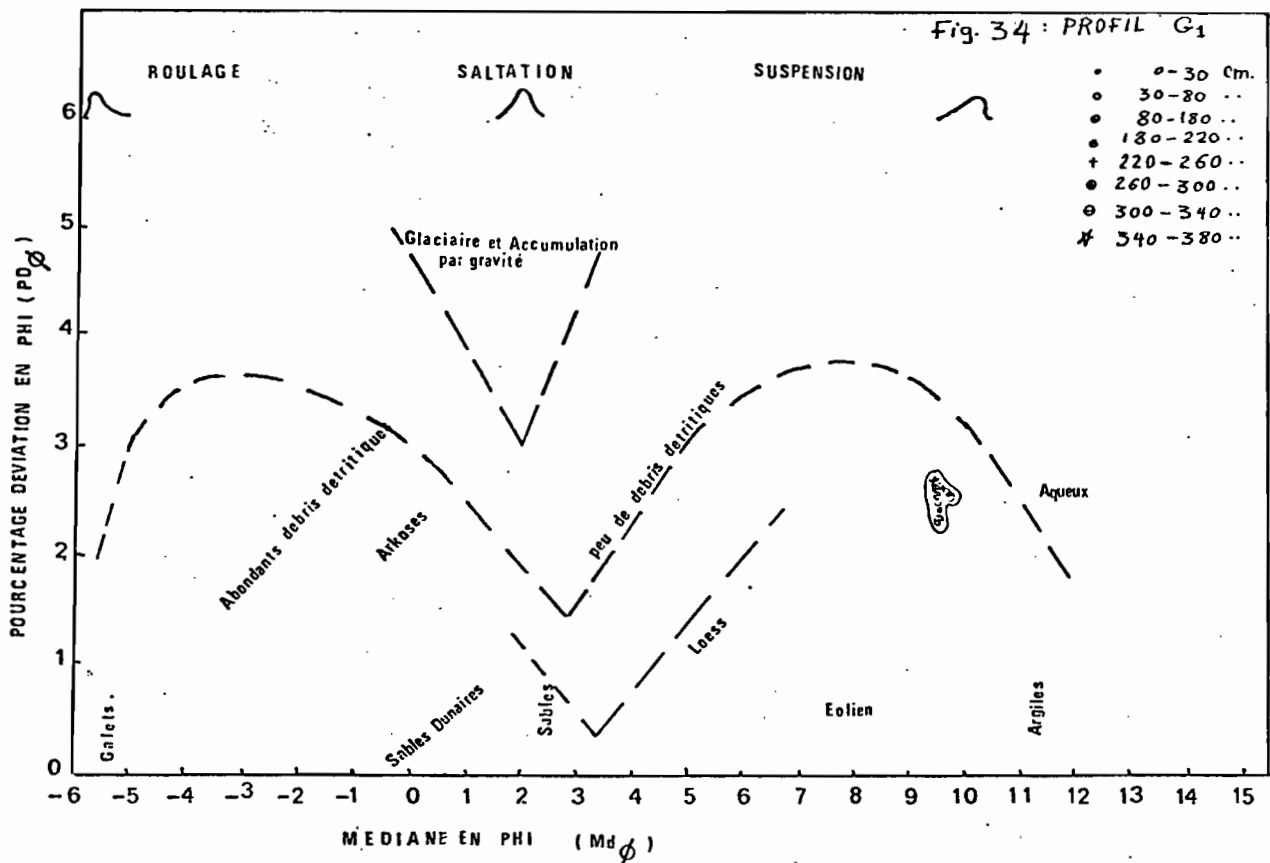
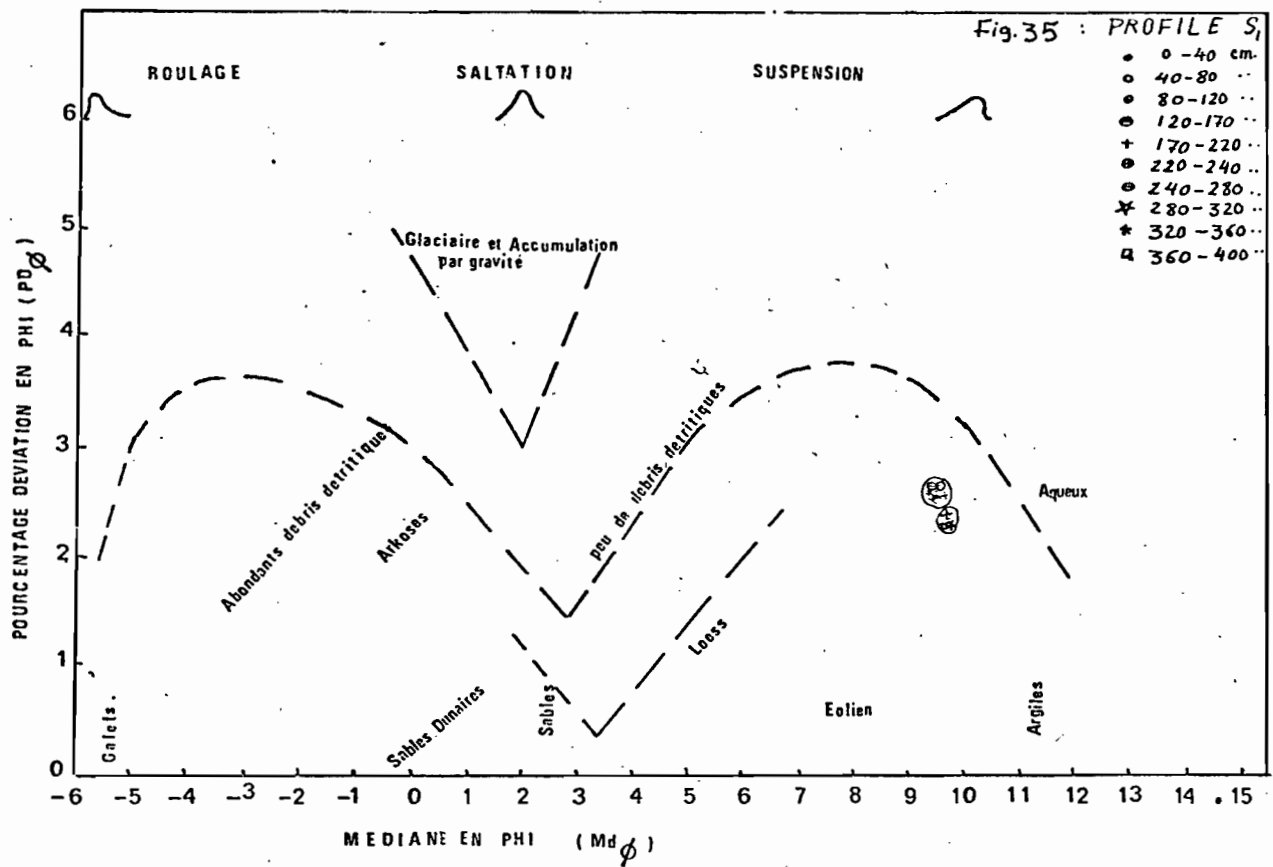
Fig. 26-42 : Les positions des points représentatifs des couches des profils étudiés sur le graphique de Griffiths (1967).

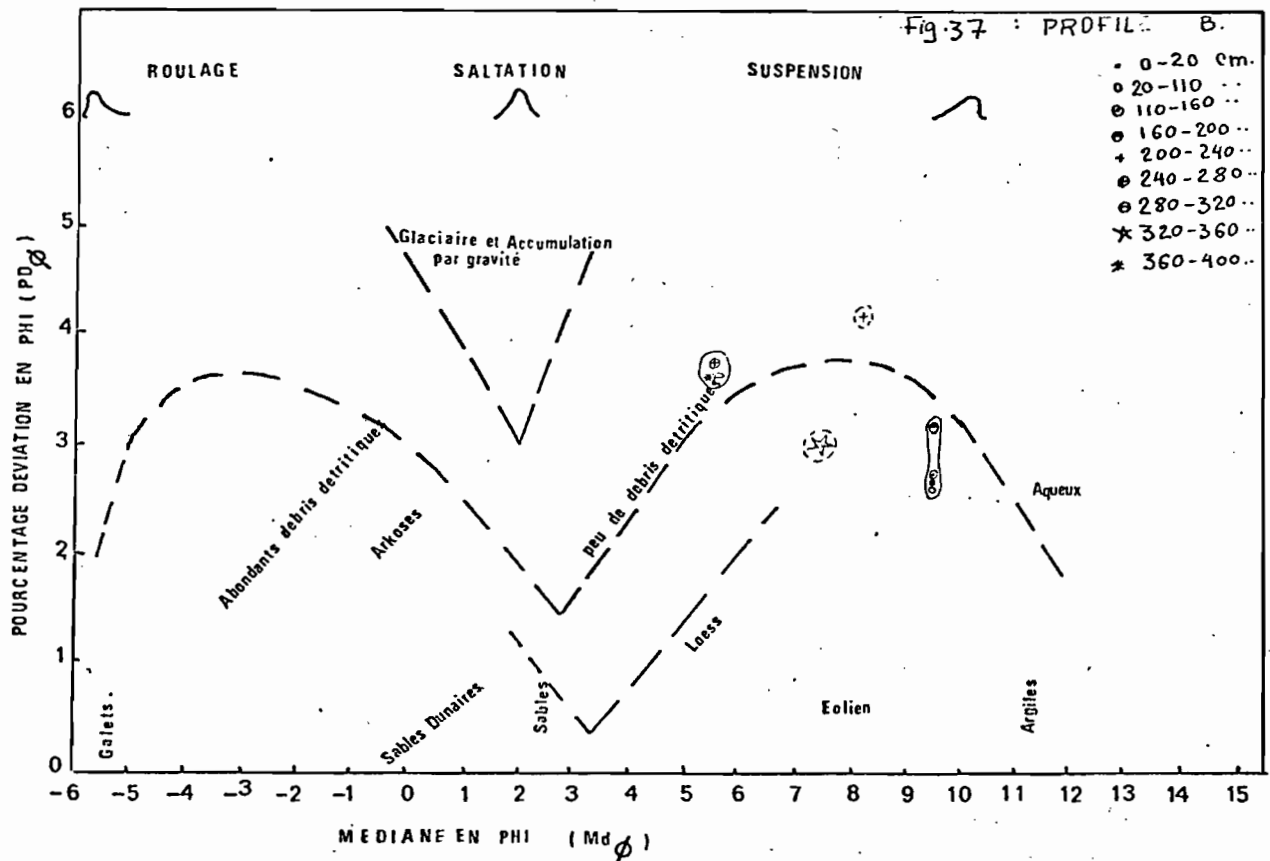
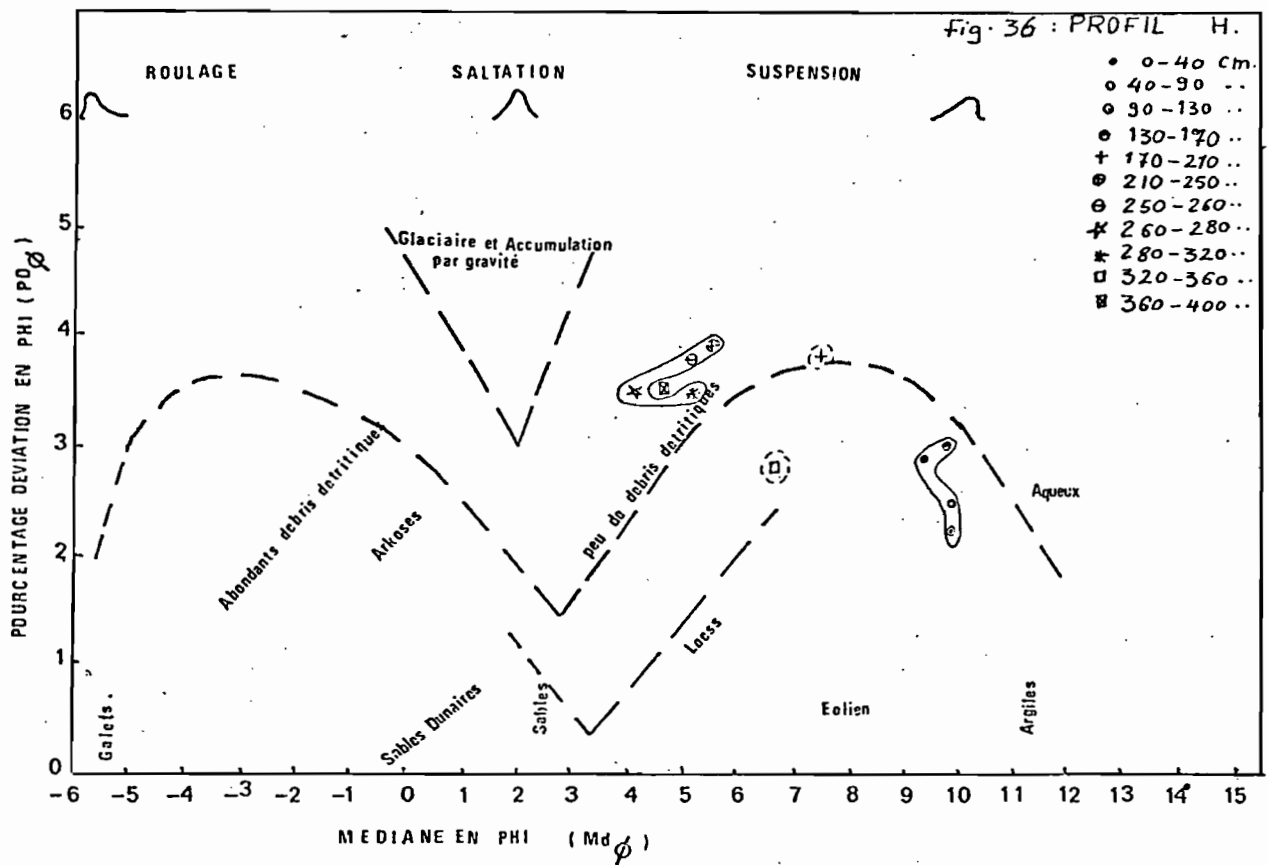












ramètres indiquant un apport régulier en suspension dans l'eau.

- Le profil F se trouve dans une dépression, entre la région deltaïque et la région désertique, à l'ouest de la branche Rosetta. Les valeurs de  $PD\emptyset$  varient entre 2 et 5, ce qui correspond à la non homogénéité de ce profil. La couche de surface est d'origine aqueuse et transportée en suspension. Elle recouvre une couche déposée par gravité et qui s'observe de 50 à 90 cm. Ensuite vient une autre couche d'origine aqueuse dont les éléments ont été transportés en saltation. Elle a été déposée sur une couche sableuse mise en place par colluvionnement de 1,7 à 2,9 mètres de profondeur. Enfin une couche d'origine aqueuse et transportée en saltation se trouve entre 2,9 et 3,2 mètres de profondeur.

- Les profils Ks, EB, S et B4 ont des valeurs plus ou moins semblables en  $PD\emptyset$  et  $Md\emptyset$ . Les valeurs de  $PD\emptyset$  varient entre 3 et 4, sauf dans le profil B4 entre 2m. et 3,3 mètres. Généralement on peut affirmer que tous ces échantillons ont été transportés et triés en suspension dans un milieu aqueux.

- Les profils G et S, qui se trouvent à l'est de la branche Damietta, présentent deux très bons exemples d'uniformité à travers 4 mètres de profondeur. Leurs valeurs sont très semblables :  $Md\emptyset$  entre 9,40 et 9,70 et  $PD\emptyset$  entre 2,02 et 2,60. Ceci montre une stabilité des conditions de dépôts dans cette région pendant environ 40 à 50 siècles.

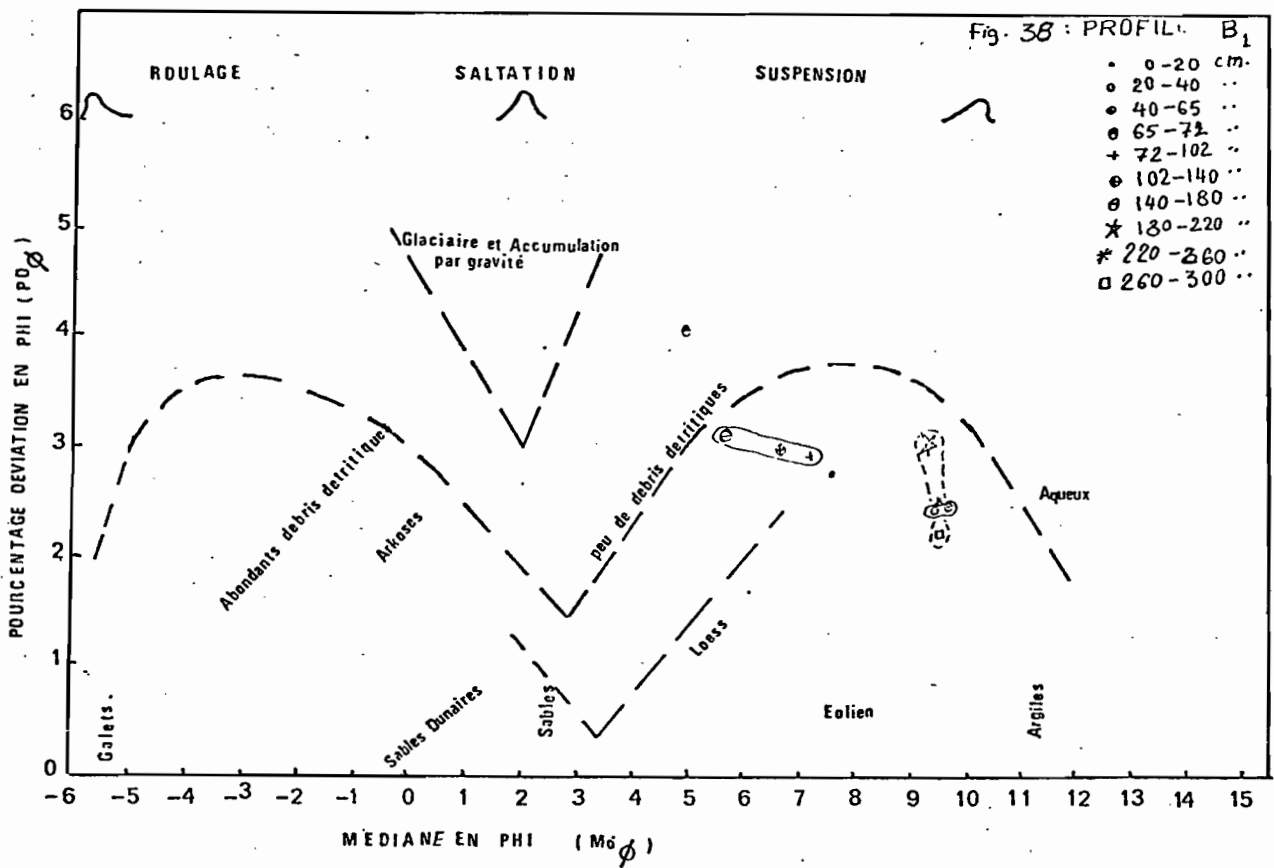
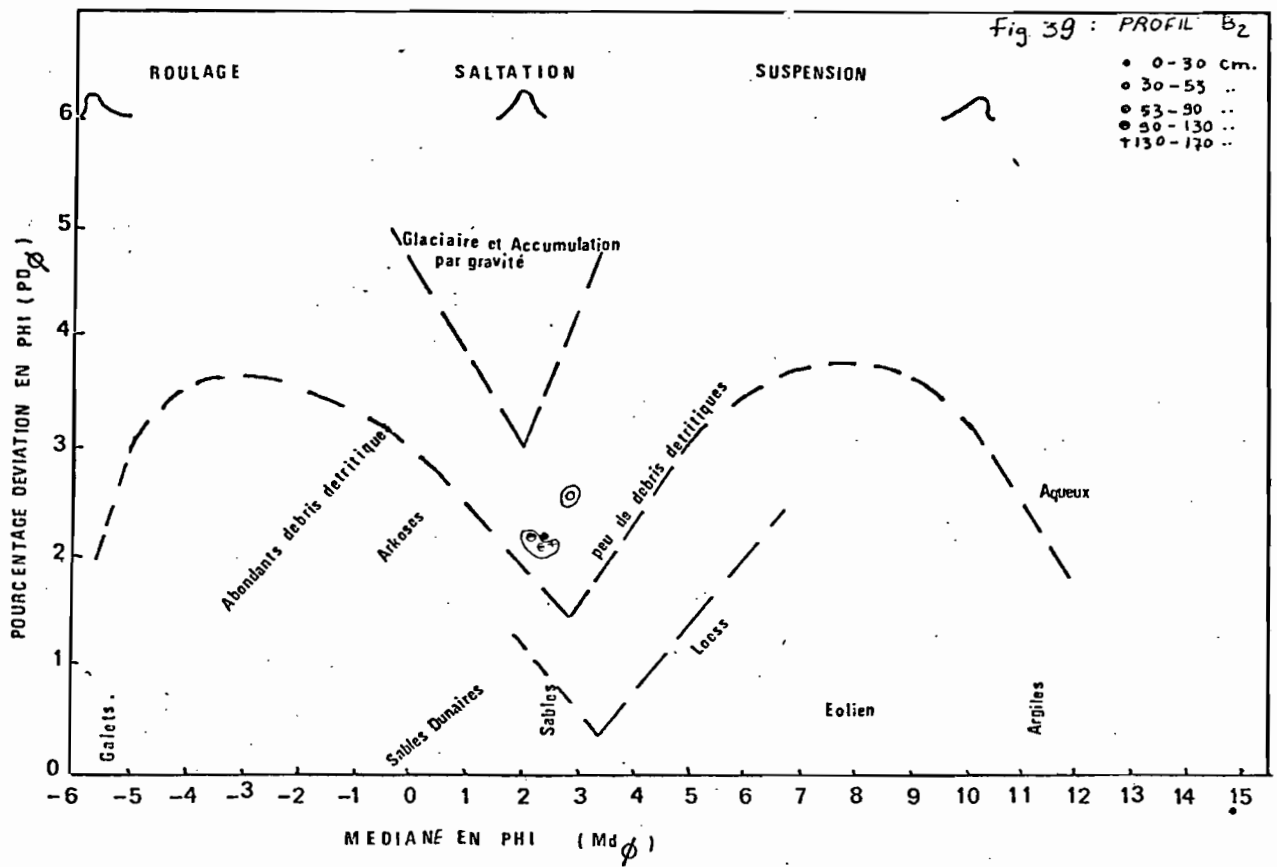
- Les profils H, B et B1 indiquent par contre une variation des valeurs des  $Md\emptyset$  et  $PD\emptyset$  qui prouvent une hétérogénéité dans les couches stratifiées. Les valeurs de  $PD\emptyset$  dans ces profils varient entre 4 et 2 et de  $Md\emptyset$  entre 4 et 10, ce qui indique une formation en milieu aquaux, probablement lacustre, mais avec des modifications des conditions de dépôt, certains des sédiments restant fluviatiles, d'autres apparaissant fluvio-marins ; on y trouve en effet, des coquilles marine dans les trois, mais surtout dans le profil B<sub>1</sub>.

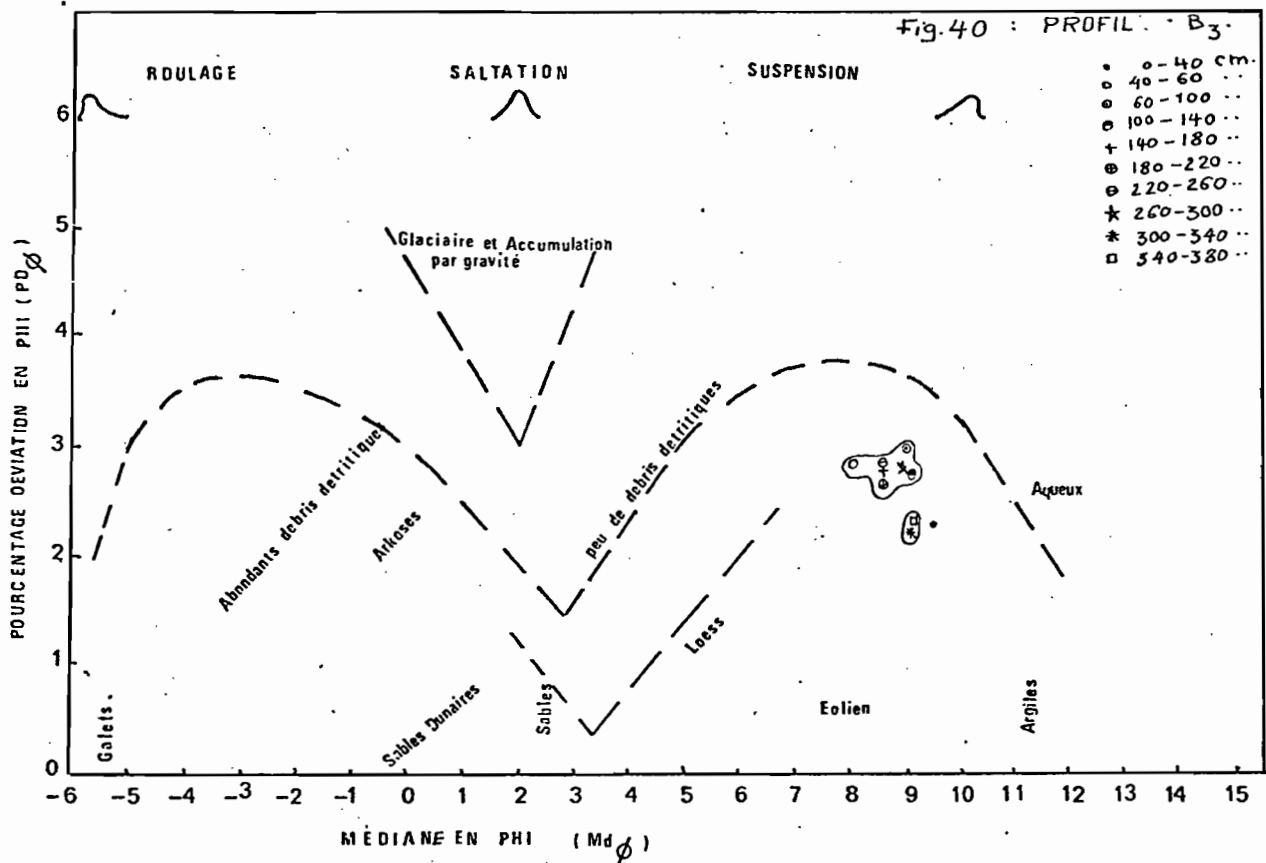
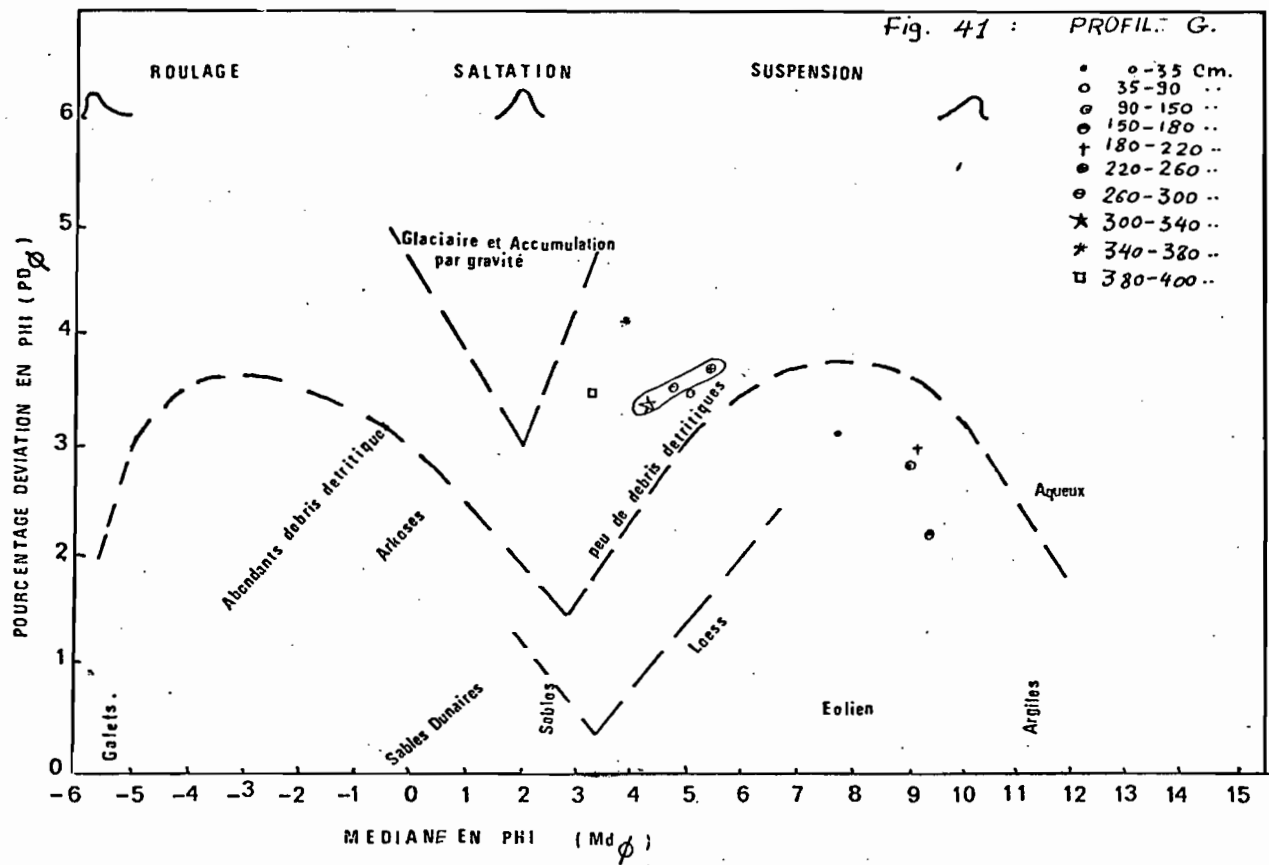
- Le profil B2 montre un exemple du triage marin. Les valeurs de  $Md\emptyset$  sont entre 2 et 3, et celles de  $PD\emptyset$  sont entre 2 et 3.

- Dans le profil B3 qui se trouve à 4 km au sud du lac Borolos, les valeurs de  $MD\emptyset$  varient entre 8,10 et 9,55, et celles de  $PD\emptyset$  entre 2,20 et 3,17. Tous ces matériaux ont été transportés en suspension et déposés dans un milieu aqueux. Le profil est moyennement homogène mais les couches sont

groupées en deux parties : la première va de la surface à 3 mètres de profondeur ; la deuxième, qui est au-dessous de 3 mètres, présente un triage relativement plus fort. En général, les matériaux de ce profil possèdent des caractères correspondant à une sédimentation fluviomarine. Les variations dans le mode de transport ou les conditions de dépôt y sont faibles. Elles correspondent à des extensions limitées des dernières couches, extensions déjà indiquées précédemment lors de l'étude des transects  $X_1\bar{X}_1$  et  $Y\bar{Y}$ .

- Le profil G possède des valeurs en  $Md\phi$  très variables entre 3,30 et 9,40 et moins en  $PD\phi$  (entre 2,40 et 4,15). Cela exprime la grande hétérogénéité texturale des différentes couches à travers ses 4 mètres de profondeur. Ce profil qui se trouve au centre-est du delta montre que les conditions et la vitesse de sédimentation y ont beaucoup varié au cours d'environ 40 siècles. Les matériaux des différentes couches sont tous d'origine fluviale, mais les variations qu'ils présentent et qui expriment celles de leurs conditions de dépôt sont probablement dues aux changements de position des méandres du fleuve ou des lacs auxquels il a pu donner naissance.





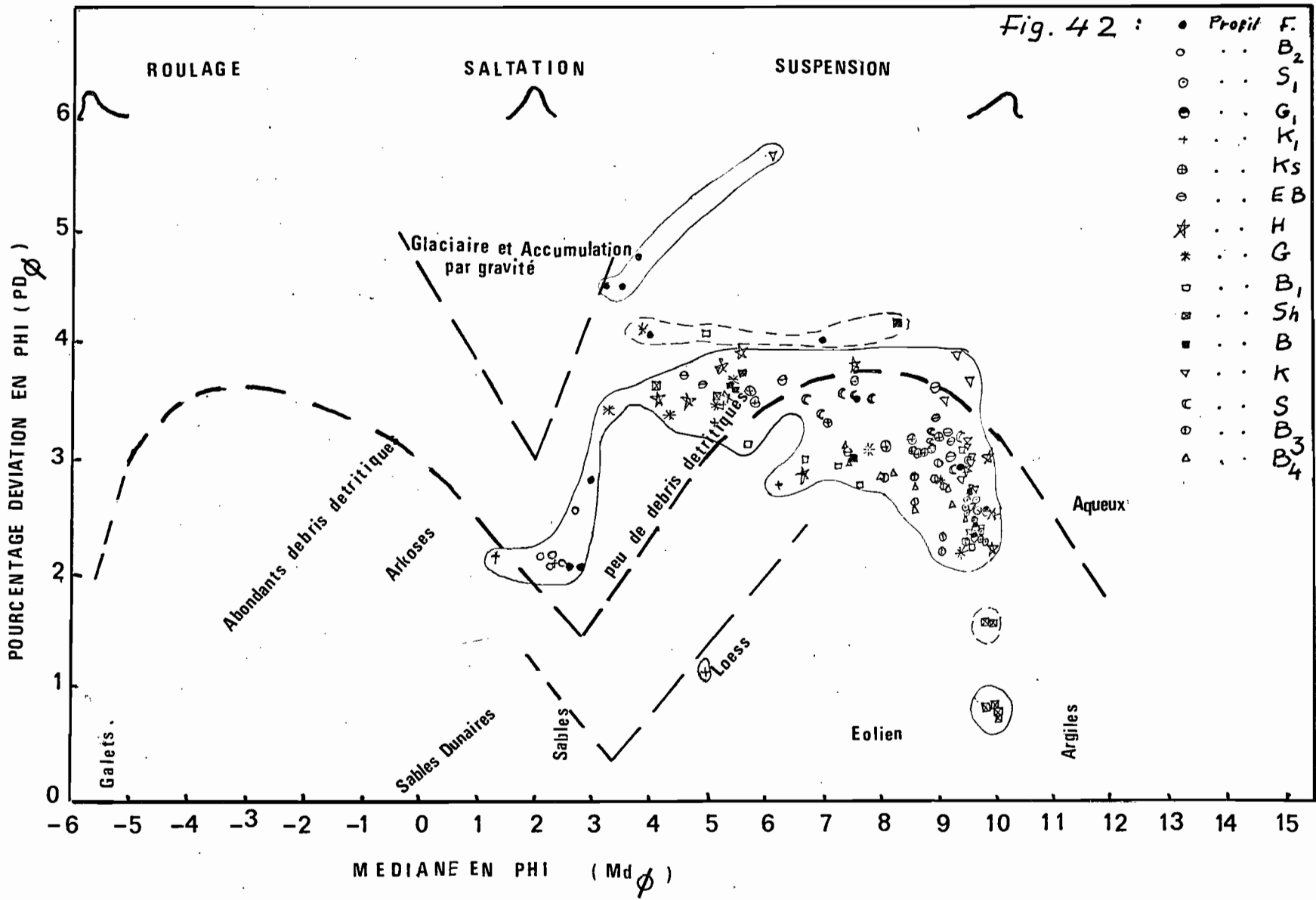


TABLEAU 3 - Granulométrie, teneur en calcaire et pH des échantillons des 16 profils étudiés

Profil	A % < 2 $\mu$	LF % 2-20 $\mu$	LGI % 20-50 $\mu$	SF % 50-200 $\mu$	SGI % 200-2000 $\mu$	Texture	Md $\phi$	PD $\phi$	calcaire total %	PH H <sub>2</sub> O	PH KCl
K <sub>1</sub> 0-20	19.5	18.3	35.0	26.4	.7	L A S	5,30	3,50	4,1	8,8	7,5
K <sub>1</sub> 20-45	13.4	14.6	48	23.4	.7	L M S	5,10	3,20	2,8	8,8	7,4
K <sub>1</sub> 45-75	21.3	33.7	36	7.5	1.6	L A	6,20	2,82	3,7	8,8	7,4
K <sub>1</sub> 75-120	6.7	4.8	88	.2	.2	L L	6,15	1,15	1,3	8,6	7,3
K <sub>1</sub> 120-170	.6	.02	1.	35.8	62.5	S	1,65	2,15	0,2	8,8	7,5
K <sub>1</sub> 170-220	.0	.0	.7	52.9	46.9	S	2,40	2,10	0,1	8,9	7,9
K 0-30	34.6	18.5	7.6	9.1	30.2	A	6,30	5,65	3,0	8,7	7,6
K 30-80	52.6	26.0	10.	3.9	7.5	A L O	9,10	3,67	3,3	8,8	7,4
K 80-115	58.3	26.2	11.2	2.5	1.7	A L O	9,30	2,77	2,6	8,6	7,3
K 115-180	60.7	27.1	6.8	3.1	2.3	A L O	9,40	2,70	1,7	8,3	7,3
K 180-220	61.8	19.7	9.8	3.6	5.1	A L O	9,35	3,10	1,9	8,4	7,3
K 220-260	59.8	22.9	9.0	3.5	4.8	A L O	9,40	3,00	1,9	8,2	7,2
K 260-300	62.6	22.7	6.5	3.6	4.7	A L O	9,45	3,00	1,2	8,2	7,1
K 300-340	64.5	18.2	5.6	4.9	6.9	A L O	9,45	2,95	1,7	8,2	7,1
K 340-380	63.4	17.2	6.3	5.1	8.0	A L O	9,45	3,70	1,6	8,2	7,1
K 380-420	60.5	19.2	5.1	6.8	8.4	A L O	9,35	3,95	2,1	8,2	7,2

G	0-35	41.1	26.3	22.7	9.1	.8	A L	7.75	3.10	1.0	8.6	7.3
G	35-90	21.3	13.2	39.7	25.7	.1	L A S	5.10	3.48	0.4	8.6	7.3
G	90-150	51.4	36.9	10.0	1.2	.4	A L O	9.05	2.78	0.6	8.6	7.3
G	150-180	64.3	27.6	6.2	1.4	.49	A L O	9.40	2.40	0.6	8.6	7.3
G	180-220	54.6	21.4	17.7	5.6	.77	A L O	9.15	3.00	1,1	8,7	7,3
G	220-260	28.3	16.6	31.7	18.0	5.46	L A S	5.40	3.68	5.5	8.8	7.4
G	260-300	16.7	13.	30.0	36.5	3.8	L M S	4.75	3.55	4.9	8.8	7.3
G	300-340	13.2	12.4	23.3	47.7	3.4	L M S	4.30	3.40	1.9	8.7	7.2
G	340-380	10.8	5.4	23.5	41.9	18.5	L M S	3.85	4.15	1.5	8.7	7.1
G	380-420	6.4	7.5	15.1	44.8	26.2	S L	3.30	3.45	0.5	8.8	7.3
<hr/>												
S	0-20	63.6	15.6	11.3	6.7	2.8	A L O	9.45	3.15	3.6	8.7	7.4
S	20-50	53.3	21.8	14.8	6.1	3.98	A L O	9.10	3.30	3.5	8.8	7.3
S	50-85	55.7	19.6	14.0	6.4	4.37	A L O	9.20	3.32	2.5	9.0	7.4
S	85-130	48.6	21.3	18.3	8.2	3.6	A L O	8.80	3.37	1.9	9.1	7.4
S	130-170	34.6	21.0	17.5	25.7	1.25	A	6.60	3.45	1.6	9.0	7.4
S	170-210	40.1	21.6	15.6	21.	1.86	A	7.45	3.45	2.5	8.7	7.4
S	210-250	41.8	21.5	15.6	16.7	4.44	A	7.75	3.45	1.8	9.0	7.4
S	250-290	22.6	42.5	18.9	14.1	1.87	L A S	6.90	3.32	3.0	9.0	7.4
S	290-330	48.6	22.7	16.7	10.7	1.4	A L O	8.75	3.32	4.2	9.1	7.5
S	330-370	41.	17.7	18.3	21.7	1.35	A	7.35	3.50	3.4	9.0	7.4
S	370-410	52.1	29.9	7.2	9.7	1.19	A L O	9.10	2.97	-	9.1	7.4

B	0-20	63.7	22.48	10.7	1.8	1.4	A L O	9.40	2.72	2.6	7.9	7.4
B	20-110	67.8	19.8	8.9	2.3	1.3	A L O	9.50	2.70	1.9	8.1	7.3
B	110-160	67.4	20.2	6.4	3.7	2.7	A L O	9.50	2.80	2.6	8.0	7.3
B	160-200	64.5	17	8.7	7.2	2.7	A L O	9.40	3.20	1.8	8.1	7.3
B	200-240	45.2	16.6	20.2	15.3	2.7	A	8.10	4.17	2.9	8.3	7.4
B	240-280	32.6	15.	22.4	25.4	4.5	A	5.60	3.82	4.4	8.3	7.5
B	280-320	27.7	18.4	29.5	19.4	5.	L A S	5.50	3.72	5.5	8.2	7.5
B	320-360	38.9	23.0	28.3	5.5	4.3	A L	7.40	3.07	3.4	8.1	7.5
B	360-400	26.8	17	29.5	22.1	4.4	L A S	5.40	3.72	4.9	8.1	7.5
H	0-40	64.6	17.0	11.1	7.0	.3	A L O	9.45	2.97	1.8	8.2	7.8
H	40-90	70.5	19.5	8.	1.6	.5	A L O	9.70	2.45	0.9	8.3	7.7
H	90-130	70.6	21.8	5.8	1.4	.4	A L O	9.70	2.20	0.4	8.1	7.6
H	130-170	70.1	16.2	5.3	6.9	1.5	A L O	9.70	3.00	0.4	7.9	7.4
H	170-210	41.4	17.9	16.5	19.2	5.0	A L O	7.50	3.80	1.1	8.1	7.6
H	210-250	29.5	15.7	23.2	25.7	5.9	A	5.55	3.87	0.3	8.1	7.5
H	250-260	24.3	13.	30.9	26.8	5.	L A S	5.20	3.75	0.5	8.1	7.5
H	260-280	13.2	6.8	16.8	55.9	7.3	S A	3.90	3.52	0.2	8.0	7.4
H	280-320	26.9	11.6	39.6	20.9	1.0	L S A	5.40	3.50	0.2	8.1	7.6
H	320-360	28.9	27.9	37.7	5.	.4	L A	6.60	2.87	0.2	8.1	7.6
H	360-400	20.9	15.9	11.2	51.2	.9	L S A	4.30	3.67	0.5	8.0	7.5

B3	0-40	69.0	23.8	6.0	1.0	.3	A L O	9.55	2.30	1.1	9.3	7.9
B3	40-60	43.8	22.5	28.6	4.9	.2	A L O	8.10	2.97	2.1	8.9	7.8
B3	60-100	49.5	19.8	20.2	9.2	1.4	A L O	8.90	3.17	4.6	8.5	7.8
B3	100-140	51.7	33.0	14.8	.2	.2	A L O	9.05	2.70	0.2	6.6	6.1
B3	140-180	43.	41.3	14.9	.5	.3	A L	8.45	2.70	0.5	8.3	7.8
B3	180-220	42.6	44.2	12.	.8	.3	A L	8.45	2.62	0.6	8.3	7.8
B3	220-260	43.2	37.7	17.9	.9	.3	A L	8.40	2.77	0.5	8.1	7.8
B3	260-300	49.5	34.0	14.6	1.4	.5	A L O	8.95	2.75	1.5	8.2	7.8
B3	300-340	54.6	31.3	12.5	1.2	.4	A L O	9.15	2.20	0.9	8.2	7.9
B3	340-380	55.7	25.9	17	.9	.4	A L O	9.20	2.30	1.4	8.2	7.8
B2	0-30	4.7	.0	2.2	51.8	41.3	S	2.65	2.20	0.5	8.7	8.1
B2	30-53	5.2	4.2	2.6	53.9	34.	S	2.90	2.67	3.8	8.9	8.2
B2	53-90	2.7	.3	.9	51.9	44.3	S	2.55	2.05	2.2	8.8	8.5
B2	90-130	2.5	.0	1.3	40.8	55.4	S	2.00	2.22	2.5	8.7	8.7
B2	130-170	1.7	2.6	.7	53.59	41.5	S	2.60	2.15	1.7	8.8	8.8

B4	0-30	61.9	22.1	9.	4.8	2.2	A L O	9.40	2.62	4.0	8.5	7.3
B4	30-80	58.6	22.5	12.2	4.8	1.9	A L O	9.30	2.72	1.9	8.3	7.3
B4	80-95	47.5	28.3	18.6	5.4	.2	A L O	8.65	2.70	1.9	8.2	7.2
B4	95-150	54.2	21.4	15.5	6.0	2.9	A L O	9.15	2.80	2.4	8.1	7.1
B4	150-190	55.4	27.7	9.6	6.	1.3	A L O	9.20	2.70	2.5	8.1	7.4
B4	190-230	47.4	25.0	18.1	8.	1.4	A L O	8.60	2.80	2.0	8.0	7.2
B4	230-270	42.2	23.9	24.6	8.0	1.4	A L	7.90	2.82	1.9	8.4	7.3
B4	270-310	39.1	23.7	24.6	12.5	.6	A L	7.40	3.07	1.2	8.4	7.2
B4	310-350	38.3	23.9	22.1	14.5	1.2	A L	7.30	3.20	2.0	8.4	7.3
B4	350-390	42.5	24.0	20.2	12.4	.8	A L	8.00	2.80	0.9	8.4	7.2
S1	0-40	63.9	21.3	9.6	2.4	2.8	A L O	9.40	2.55	4.6	9.0	7.4
B1	40-80	63.7	23.1	8.6	1.7	2.9	A L O	9.40	2.45	5.3	9.0	7.3
B1	80-120	66.9	19.5	8.5	2.1	3.0	A L O	9.50	2.52	4.2	9.0	7.3
B1	120-170	67.2	19.8	7.7	1.7	3.6	A L O	9.50	2.50	4.2	9.0	7.3
B1	170-200	68.3	18.2	7.2	1.9	4.5	A L O	9.55	2.60	5.4	9.0	7.
B1	200-240	65.0	21.1	7.5	2.1	4.4	A L O	9.45	2.60	5.2	9.0	7.3
B1	240-280	65.3	21.3	6.6	2.3	4.6	A L O	9.55	2.60	3.8	8.8	7.3
B1	280-320	70.5	19.2	5.7	1.8	2.9	A L O	9.60	2.22	3.5	8.9	7.5
B1	320-360	74.3	17.7	4.5	1.1	2.3	A L O	9.65	2.02	2.1	8.4	7.0
B1	360-400	73.5	18.0	4.1	1.7	3.4	A L O	9.65	2.10	1.7	8.0	7.1

F	0-15	28.37	43.3	14.2	10.5	3.7	L A	7.40	3.37	18.1	10.2	10.0
F	15-40	60.88	20.61	11.58	5.4	1.8	A L O	9.35	2.95	18.1	10.2	8.9
F	40-50	38.36	20.0	13.2	19.54	9.0	A	7.05	4.00	31.1	10.0	8.7
F	50-90	10.2	11.0	5.65	44.7	28.5	S A	3.35	4.42	15.7	10.1	9.0
F	90-130	5.9	3.5	5.1	54.6	30.8	S	3.05	2.80	8.4	10.3	9.2
F	130-170	5.	.2	3.3	56.4	35.	S	2.90	2.15	6.6	10.4	9.4
F	170-210	2.0	15.6	5.6	33.0	24.9	S A	3.90	4.82	9.7	10.5	9.1
F	210-250	24.2	10.9	10.6	43.2	11	L S A	4.15	4.07	5.6	10.5	9.1
F	250-290	15.3	7.3	10.4	48.7	18.3	S A	3.65	4.40	2.0	10.4	9.2
F	290-320	4.5	1.9	4.6	45.7	43.8	S	2.60	2.35	2.3	10.4	9.4
EB	0-30	49.3	22.7	15.9	9.3	2.8	A L O	8.90	3.35	3.1	8.9	7.5
EB	30-70	50.0	21.3	14.4	11.6	2.8	A L O	9.00	3.52	3.1	9.0	7.5
EB	70-150	54.8	21.7	11.9	9.	2.6	A L O	9.20	3.27	2.3	9.1	7.4
EB	150-190	56.9	20.2	12.9	6.	3.9	A L O	9.30	3.12	3.0	8.7	7.2
EB	190-230	57.7	21.7	12.95	4.2	3.6	A L O	9.30	3.00	3.9	8.7	7.1
EB	230-270	41.6	20.0	22.3	11.7	4.4	A L	7.65	3.62	4.7	8.9	7.3
EB	270-310	39.2	22.	24.8	9.1	4.8	A L	7.45	3.02	6.5	8.8	7.3
EB	310-350	33.3	18.	25.7	22.3	1.2	A	6.10	3.65	1.4	8.7	7.1
EB	350-390	21.2	13.2	24.9	41.3	.2	L S A	4.90	3.65	0.3	8.5	6.9
EB	390-430	23.9	15.	12.36	48.4	.4	L S A	4.50	3.75	0.3	8.7	7.1

G1	0-30	68.0	19.7	4.9	2.3	5.1	A L O	9.55	2.35	3.9	8.6	7.3
G1	30-80	68.2	22.8	5.7	1.3	2.1	A L O	9.55	2.47	2.6	8.4	7.3
G1	80-180	72.4	17.7	6.9	1.7	1.3	A L O	9.65	2.50	4.8	8.3	7.4
G1	180-220	74.5	15.4	6.8	1.8	1.6	A L O	9.70	2.50	4.4	8.3	7.4
G1	220-260	73.4	16.2	6.6	1.6	2.	A L O	9.65	2.57	3.5	8.1	7.4
G1	260-300	67.2	18.3	11.6	1.2	1.7	A L O	9.50	2.25	2.8	8.0	7.2
G1	300-340	67.7	22.9	7.5	.8	1.2	A L O	9.50	2.47	1.7	7.9	7.2
G1	340-380	67.2	22.4	7.6	1.	1.7	A L O	9.50	2.55	3.5	7.9	7.3
B1	0-20	32.2	43.6	18.5	5.2	.6	A L	7.65	2.87	2.0	8.6	7.4
B1	20-40	59.4	32.5	5.8	1.8	.5	A L O	9.30	2.40	2.4	9.4	7.6
B1	40-65	64.8	26.5	5.3	3.0	.4	A L O	9.45	2.42	2.9	9.4	7.7
B1	65-72	31.0	11.0	14.8	33.1	1.10	A	4.95	4.15	14.4	9.9	8.2
B1	72-102	29.4	35.8	33.2	1.4	.3	A L	7.10	2.82	2.0	9.4	8.0
B1	102-140	27.3	29.3	37.7	5.2	.6	L A	6.45	2.87	2.3	9.1	7.9
B1	140-180	22.2	23.0	44.0	10.5	.3	L A	5.55	3.07	2.2	9.4	8.0
B1	180-220	53.3	24.2	13.5	6.6	2.4	L A	9.15	3.07	2.9	9.0	8.3
B1	220-260	58.8	25.1	10.4	4.1	1.3	A L	9.30	2.42	1.8	9.5	8.3
B1	260-300	60.5	26.0	9.7	2.9	1.0	A L	9.35	2.25	2.3	8.6	8.0

Sh	0-40	83.3	14.1	1.7	.6	.4	A L O	9.80	1.67	0.1	9.1	7.9
Sh	40-130	99.1	.1	.2	.3	.3	A L O	10.00	0.77	0.5	8.2	7.7
Sh	130-180	92.2	6.5	.5	.6	.2	A L O	9.95	0.85	0.7	8.4	8.0
Sh	180-220	94.2	4.6	.5	.5	.3	A L O	9.95	0.82	0.8	8.6	8.1
Sh	220-260	92.0	7.3	.4	.2	.1	A L O	9.90	0.85	0.2	7.9	7.7
Sh	260-300	83.3	13.1	2.2	1.4	.1	A L O	9.80	1.67	0.2	7.7	7.5
Sh	300-340	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	5.9	5.7
Sh	340-380	19.3	9.6	13.2	57.3	.5	S A	4.05	3.65	0.6	8.0	7.5
Sh	380-420	22.4	15.6	23.5	37.9	.6	L S A	5.00	3.62	1.5	8.3	7.8
KS	0-30	49.7	23.0	15.4	9.5	2.4	A L O	8.95	3.32	3.2	8.5	7.5
KS	30-90	46.0	23.1	18.0	11.2	1.7	A L O	8.40	3.37	2.9	8.9	7.6
KS	90-120	24.8	19.8	26.7	27.0	1.7	L A S	5.55	3.60	2.4	9.3	7.7
KS	120-160	25.4	23.1	31.3	19.1	1.0	L A S	5.70	3.47	1.7	9.1	7.6
KS	160-200	34.1	25.2	25.2	14.4	1.1	A L	7.00	3.40	1.3	9.2	7.5
KS	200-240	41.4	25.8	21.7	9.8	1.3	A L	8.00	3.17	1.2	9.1	7.5
KS	240-280	45.8	24.9	20.3	7.7	1.3	A L O	8.40	3.05	2.0	9.0	7.4
KS	280-320	47.0	27.5	18.4	6.0	1.1	A L O	8.65	3.02	1.4	8.9	7.4
KS	320-360	46.8	26.56	18.9	6.7	1.3	A L O	8.65	3.02	1.8	8.8	7.4
KS	360-400	46.2	28.2	18.1	5.8	1.7	A L O	8.55	3.00	1.8	8.7	7.3

## II.4. Principales caractéristiques texturales et chimiques des sols du delta.

### II.4.a - Les principales caractéristiques texturales et chimiques des couches des profils étudiés dans les quatre transects (Fig. 52a et b) peuvent être résumées comme suit :

#### 1.- La matière organique (tableau n° 6)

Les résultats indiquent généralement une faible quantité de matière organique qui varie entre 2,65% et 1,05 dans les horizons de surface et qui diminue encore en profondeur jusqu'à 1,45 et 0,53%. Cela est observé dans tous les profils sauf certains : Sh, B<sub>3</sub> et F dont les particularités seront expliquées plus loin. Les rapports C/N montrent une variation très faible (entre 11,85 et 10,8) dans les profils : S<sub>1</sub>, Ks, S. Ils varient un peu plus (entre 13,8 et 10,2) dans les profils B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>, K, et G. Les profils F et K, ont des valeurs plus faibles entre 7 et 9,5. Les valeurs du rapport C/N sont beaucoup plus variables dans un même profil (entre 7,8 et 16,8) dans les profils Sh, B<sub>3</sub>, et EB.

Par contre, dans les profils Sh, B<sub>3</sub>, EB et même H, ces rapports sont plus variables (entre 7,8 et 16,8) ou au moins assez élevés. Dans les deux premiers il s'agit soit de matière organique enterrée fossilisée, soit probablement d'impuretés végétales (éléments de racines) dans des horizons de surface très peu humifères. Peut-être cette dernière explication s'applique-t-elle aussi aux deux derniers profils.

#### 2.- La texture, la salinité, le calcaire total et le pH

1. Premier transect (Y $\bar{Y}$ ) de la pointe du delta au Sud jusqu'à la côte au Nord :

- Le profil K<sub>1</sub> a une texture limoneuse plus ou moins légère qui devient sableuse en profondeur. Les valeurs de la conductivité électrique de l'extrait aqueux au demi, indiquent une absence pratique de salinité (de 0 à 2m.mhos/cm.\* Le calcaire total est très bas (0-2%) et un peu plus élevé à la surface (2-6%). La réaction est moyennement alcaline (pH 8,5-9) dans tout le profil.

\* La conductivité électrique indiquée pour différents horizons est celle de l'extrait au demi.

- Le profil K a une texture d'argile lourde homogène dans tout le profil, sauf à la surface où elle est un peu moins lourde (argileuse). La salinité est généralement faible en surface et devient assez forte en profondeur. La conductivité électrique varie de 2-4 à la surface à 4-8 m.mhos/cm en profondeur, avec une augmentation relativement forte entre 115 et 180 cm. de 8 à 15m.mhos/cm. Le calcaire total est très bas (0-2%) et un peu plus élevé à la surface (2-6%). La réaction est moyennement basique à la surface (pH de 8,5-9) et légèrement basique en profondeur (pH de 7,7 à 8,5).
- Le profil G est très varié en texture mais généralement elle est plus ou moins légère avec une couche épaisse d'argile lourde entre 90 et 220cm. Il est, en général, peu salé (C.E. entre 0 et 2 m.mhos/cm) et moyennement basique ; pH entre 8,5 et 9.
- Le profil S a une texture argileuse plus ou moins lourde avec une couche fine de limon argilo-sableux entre 290 et 330 cm. La conductivité électrique qui varie entre 0 et 2 m.mhos/cm montre que ce profil n'est pas ou assez peu salé au moins jusqu'à 4 mètres de profondeur. Le calcaire total est faible (0-6%) et augmente en profondeur de 6 à 12% et diminue à nouveau à 0-2%. Les données de pH indiquent une réaction légèrement basique à la surface et fortement basique (pH 9) en profondeur à partir de 2,1 mètres.
- Le profil B a une texture d'argile lourde de 0-110 cm qui devient de plus en plus légère en profondeur. Les valeurs de la conductivité électrique indiquent une salinité moyenne à forte (4-8 et 8-15 m.mhos/cm) avec des concentrations très fortes (15-30 m.mhos/cm) à la surface et dans deux autres zones, à 110-200 cm et à 320-400 cm de profondeur. Le calcaire total montre des valeurs basses (2-6%). Il ne varie pratiquement pas en profondeur. La réaction est légèrement basique dans tout le profil (pH 7,7-8,5).
- Le profil H a une texture plus ou moins semblable à celle du profil B. La salinité est beaucoup plus forte dans tout le profil (C.E. de 30-50 m.mhos/cm). Il a un très faible pourcentage de calcaire (0-2%). Le pH est presque semblable à celui du profil B.

TABLEAU 6 - Teneur et caractères de la matière organique dans 14 profils

Profil n°	N ‰	C ‰	C/N	MO %
Sh 220-260	1.2	15.5	12.9	2.67
Sh 260-300	3.7	44.5	12.1	9.48
Sh 300-340	6.2	96.6	15.6	16.66
H 0-40	0.5	7.1	14.1	1.22
B <sub>3</sub> 0-40	0.5	8.5	16.3	1.48
B <sub>3</sub> 100-140 <sup>+</sup>	1.9	29.8	15.7	5.14
F 0-15	0.3	2.4	8.4	0.42
F 15-40	0.3	1.7	7.0	0.30
F 40-50	0.2	1.5	9.1	0.25
K <sub>1</sub> 0-20	0.7	6.2	8.5	1.07
K <sub>1</sub> 20-45	0.3	3.1	9.5	0.53
G- 0-35	1.2	13.2	11.0	2.28
G- 35-90	0.3	4.2	13.2	0.73
K 0-30	1.5	15.3	10.2	2.65
K 30-80	0.4	5.5	13.4	0.95
EB 0-30	0.9	7.2	7.8	1.25
EB 30-70	0.3	4.5	16.8	0.78
EB 70-150	0.3	3.9	12.1	0.67
EB 150-190	0.3	3.1	11.8	0.53
B <sub>4</sub> 0-30	1.0	13.3	13.8	2.29
B <sub>4</sub> 30-80	0.5	5.9	12.1	1.02
B <sub>1</sub> 0-20	0.8	10.2	12.3	1.76
B <sub>1</sub> 20-40	0.6	7.5	11.8	1.28
B <sub>1</sub> 40-65	0.5	7.0	13.3	1.21
G <sub>1</sub> 0-30	1.3	14.8	11.6	2.55
G <sub>1</sub> 30-80	0.4	4.8	11.2	0.83
KS 0-30	0.8	10.0	11.9	1.72
KS 30-90	0.5	5.6	11.8	0.96
S 0-20	1.3	14.6	11.2	2.52
S 20-50 <sup>+</sup>	0.7	8.4	11.3	1.45
S <sub>1</sub> 0-40	0.6	6.1	10.8	1.05
S <sub>1</sub> 40-80	0.4	4.3	11.1	0.73

\* Coquilles

- Le profil B<sub>3</sub> a une texture d'argile lourde avec une couche épaisse d'argile limoneuse entre 140 et 300 cm de profondeur. La salure augmente régulièrement en profondeur de 3 à 8, puis 18, et jusqu'à 45,75 m.mhos/cm pour redescendre légèrement à 36,4 m.mhos/cm dans la couche de 140 à 180 cm. Le calcaire total est très faible (de 0-2%) avec une légère augmentation de 40-100 cm. Cela est sûrement dû aux débris de coquilles qui ont été observés dans cette couche. La réaction est très variable ; le pH est de 9 à 10 à la surface. Il diminue à 8,5-9 au dessous et devient légèrement acide (6,6) dans la couche à 100-140 cm. La réaction devient légèrement basique : pH 7,7-8,5 cm de profondeur. La matière organique est faible à la surface (1,48%) et relativement forte à 1,4 mètre (5,14%) ; cela peut être dû à la présence d'un sol fossilisé à cette profondeur.

- Le profil B<sub>2</sub> a une texture sableuse. La conductivité électrique est très basse à moyenne (0-2 m.mhos/cm). Le calcaire total est de 0-2% avec une légère augmentation dès 30cm (3,8%) jusqu'à 1,8 mètre (1,7%). La réaction est légèrement basique en surface (pH 7,7-8,5) devient moyennement basique (8,7-8,8) en profondeur.

2. Deuxième Transect (XX) : (Fig. 52b) de la région désertique à l'ouest jusqu'à la région deltaïque plus à l'est :

- Le profil F présente des couches argilleuse à limoneuse à la surface qui deviennent sableuses en profondeur. Les valeurs de conductivité électrique indiquent une très forte accumulation des sels à la surface (C.E. 30,2 m.mhos/cm). La conductivité électrique diminue en profondeur et arrive à 2 m.mhos/cm à 50-80cm. Les valeurs de calcaire total sont très élevées à la surface (18,1%) de 0-40cm, puis 31,7% de 40 à 50cm. Au dessous le calcaire total diminue graduellement jusqu'à 2,1% à 2,50 mètres. La réaction est fortement basique ; le pH varie entre 10 et 10,5. La matière organique a des valeurs très faibles ; entre 0,25% et 0,42%. Cela est sûrement dû à la forte salinité et alcalinité qui arrêtent le développement des plantes et des micro-organismes.

- Le profil E.B. présente une couche très épaisse d'argile lourde déposée sur des couches argilleuses plus ou moins légères et beaucoup plus légères en profondeur. La conductivité électrique est inférieure à 4 m.mhos/cm. Elle est de 0-2 m.mhos/cm à la surface. Ce profil est beaucoup moins riche en calcaire que le profil F. La teneur en cet élément

varie autour de 3% jusqu'à 2,3 mètres, puis augmente jusqu'à 6,5% à 3 mètres de profondeur et diminue de nouveau jusqu'à 0,3% à 4 mètres. Le pH de ce profil montre une réaction moyennement basique dans tout le profil (pH 8,5-9), sauf entre 30 et 150 cm où elle devient plus basique (pH 9-9,1).

- Le profil B<sub>4</sub> a une texture d'argile lourde qui devient argile limoneuse en profondeur. La salinité est moyenne à la surface (EC 2,6 m.mhos/cm). Elle augmente graduellement à 7,7 m.mhos/cm à 8,5 m.mhos/cm de 95-190cm. Le calcaire total est de 2-6% dans tout le profil sauf dans quelques couches à la surface et en profondeur où il est inférieur à 2%. La réaction est légèrement basique (pH 8,0-8,5) dans tout le profil.

- Le profil S<sub>1</sub> a une texture homogène d'argile lourde. La salinité est assez moyenne en général (C.E. < 4 m.mhos/cm) avec une certaine augmentation tout-à-fait en profondeur. Le calcaire total a des valeurs faibles et varie entre 2 et 6%. La réaction est élevée (pH 9) ; elle diminue en profondeur jusqu'à pH 8.

- Le profil G<sub>1</sub> a une texture semblable à celle du profil S<sub>1</sub>. La salinité moyenne en surface (2 m.mhos/cm) augmente dès 30cm pour atteindre 8,7 m.mhos à 80cm. Le calcaire total est semblable à celui du profil S<sub>1</sub>. La réaction est faiblement basique dans l'ensemble du profil.

3. Troisième Transect (Y<sub>1</sub>V<sub>1</sub>) se trouve au centre du delta mais plus à l'ouest.

- Le profil B<sub>4</sub> a été expliqué parmi les profils du deuxième transect.

- Le profil KS a une texture d'argile lourde avec une couche épaisse plus légère de 90 à 140cm de profondeur. Ce profil est assez peu ou moyennement salé. La conductivité électrique varie de 3,5 m.mhos/cm en surface à 1,2 et 2,4 m.mhos/cm en profondeur. Il est faiblement calcaire ; le calcaire total varie de 2-6% à la surface et diminue à moins de 2% en profondeur. La réaction est moyennement basique (pH 8,5 à 9) à la surface. Elle devient très élevée au dessous (pH 9,1 à 9,3). Plus en profondeur le profil est moyennement basique.

- Le profil Sh est formé d'argile lourde de la surface jusqu'à 3 mètres de profondeur sur sable argileux riche en matière organique, surmontant un limon sablo-argileux. Le profil est en général très salé (C.E. 50-70

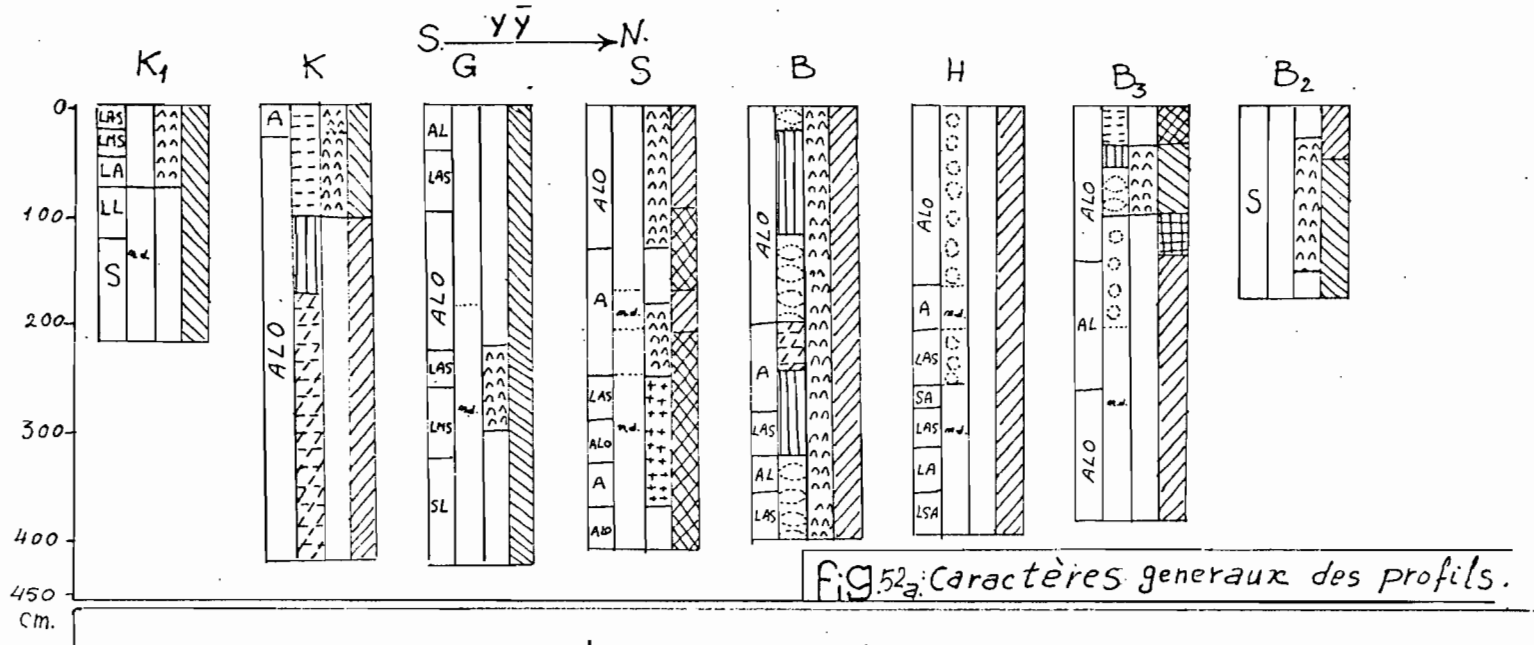


Fig. 52a. Caractères généraux des profils.

Texture :		pH(H <sub>2</sub> O)		Calcaire Total :		Conductivité électrique : m. mois, cm			
S	Sable.	LM	Limons moyens.		6-7		0-2		50-70
SL	limoneux.	LA	Limons argileux.		7-7.7		2-6 %		2-4
SA	argileux.	A	Argile.		7.7-8.5		6-12 %		4-8
LLS	Limons légers sableux.	AS	Argiles sableux.		8.5-9		12-20 %		8-15
LMS	moyen.	AL	Argile limoneux.		9-10		>20 %		15-30
LSA	sablo-argileux.	ALO	Argile lourde.		10-10.5				30-50
LAS	argilo-sableux.								
LL	léger.								

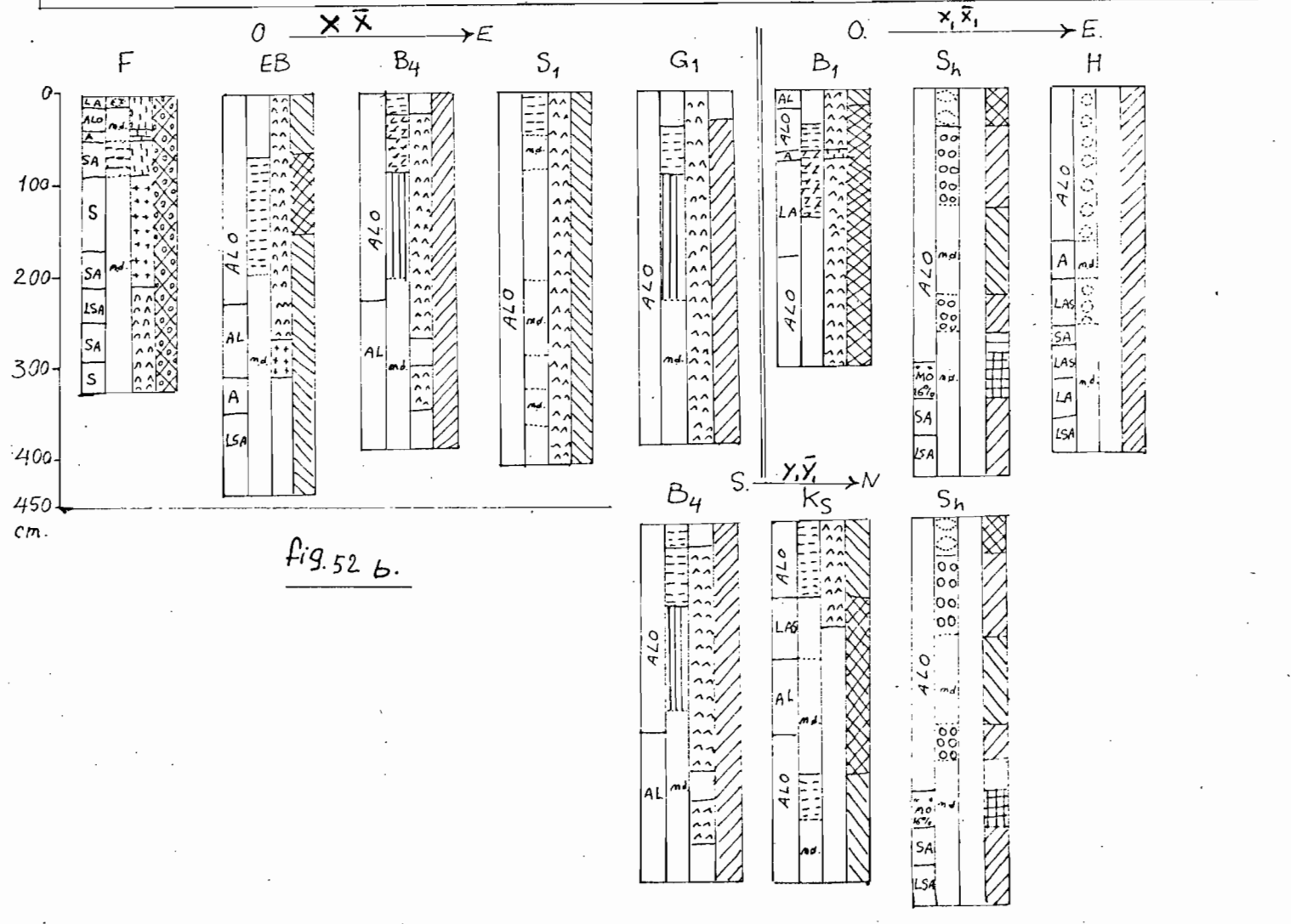


Fig. 52 b.

m.mhos/cm) ; Il l'est un peu moins en surface où la conductivité électrique atteint encore 26,6 m.mhos/cm. Le calcaire total est inférieur à 2% Le pH est très variable dans ce profil. Il est fortement basique (pH 9) en surface, devient légèrement à moyennement basique puis neutre à légèrement acide dans la couche la plus riche en matière organique (3-3,4 mètres), enfin légèrement basique.

4. Quatrième transect de l'Ouest (à l'ouest de la branche Rosetta) vers l'Est. Il est parallèle à la côte mais plus au Nord.

- Le profil B<sub>1</sub> se trouve entre le lac Edco et la branche Rosetta. Il a une texture variée d'argile limoneuse et d'argile lourde à la surface sur une couche fine de coquilles et une couche épaisse de limon argileux qui devient argile lourde en profondeur. Le profil, assez peu à moyennement salé (C.E. est inférieure à 4 m.mhos/cm) à la surface devient fortement salé en profondeur (C.E. 5,9 m.mhos/cm). Le calcaire total est entre 2-6% dans tout le profil sauf dans la couche fine de coquilles (14,4%) La réaction est fortement basique ; (pH 9-10) sur l'ensemble, sauf tout-à-fait en surface (pH 8,6).

- Le profil Sh a été présenté dans le transect (Y<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>) et le profil H l'est dans le transect (Y<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>).

## II. 4b - Les analyses statistiques.

Nous avons cherché, par analyse statistique, à vérifier s'il existe des relations entre les diverses variables étudiées. Pour cela nous avons utilisé le programme de SPEARMAN. Parmi les éléments de cette analyse statistique nous avons ajouté aux données chiffrées obtenues sur les différents sols la distance du profil à la mer et la profondeur de la nappe. Pour chaque profil la valeur pour chaque élément est la moyenne de celles des différents niveaux. Les résultats obtenus sont les suivants : il n'existe pas de corrélation entre la distance à la mer et le pourcentage d'argile, le magnésium ( $Mg^{+2}$ ), soluble (extrait aqueux au demi) le calcaire total et le pH ( $H_2O$ ). Par contre, une corrélation positive à 1% de risque s'observe entre cette distance de la mer et la différence entre pH ( $H_2O$ ) et pH (KCl) (Fig. 56) ainsi que la profondeur de la nappe phréatique (Fig. 55). Elle est négative à 1% de risque avec la salure du sol (conductivité électrique), les teneurs en chlorures et en sodium solubles ; et à 5% de risque avec les sulfates

La corrélation est absente entre la profondeur moyenne et le pourcentage d'argile, ainsi qu'avec les teneurs en sulfates, en calcaire total et avec la différence entre pH ( $H_2O$ ) et pH (KCl), mais elle est présente et positive à 5% de risque avec la conductivité électrique, et à 1% de risque avec les teneurs en sodium et en magnésium solubles.

Entre le pourcentage d'argile et les teneurs en calcaire total ou la différence pH ( $H_2O$  - pH (KCl)), la corrélation n'existe pas, même à 5% de risque ; elle est positive à 1% de risque avec : la conductivité électrique (Fig. 53), les teneurs en sulfates, sodium et magnésium solubles et avec la profondeur de la nappe phréatique (Fig. 54) ; par contre elle est négative avec pH ( $H_2O$ ) à 1% de risque.

La corrélation entre la conductivité électrique et le calcaire total est inexistante. Elle est présente et négative à 1% de risque avec pH ( $H_2O$ ) et la différence pH ( $H_2O$ ) - pH (KCl).

La corrélation est positive à 1% de risque entre le calcaire total et le pH ( $H_2O$ ), ainsi qu'avec la différence pH ( $H_2O$ ) - pH (KCl).

Il y a une corrélation négative à 5% de risque entre chlorures et calcaire total et à 1% avec pH ( $H_2O$ ) et avec la différence pH ( $H_2O$  - pH (KCl)).

Fig.53: Correlation de SPEARMAN positive entre la pourcentage d'argile et la conductivité électrique.

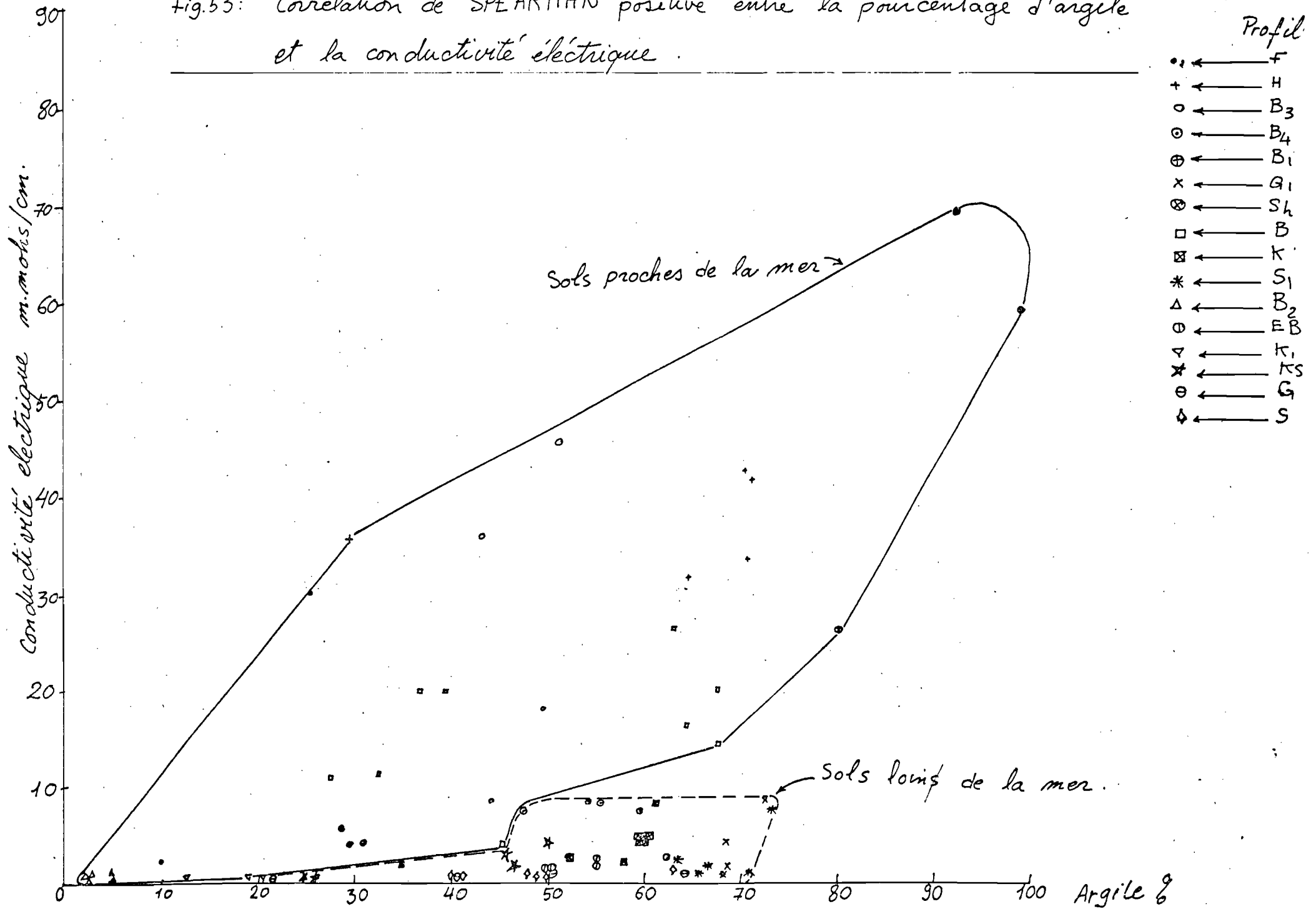


Fig.54. Corrélation de SPEARMAN positive entre le pourcentage d'argile et la profondeur de la nappe phréatique.

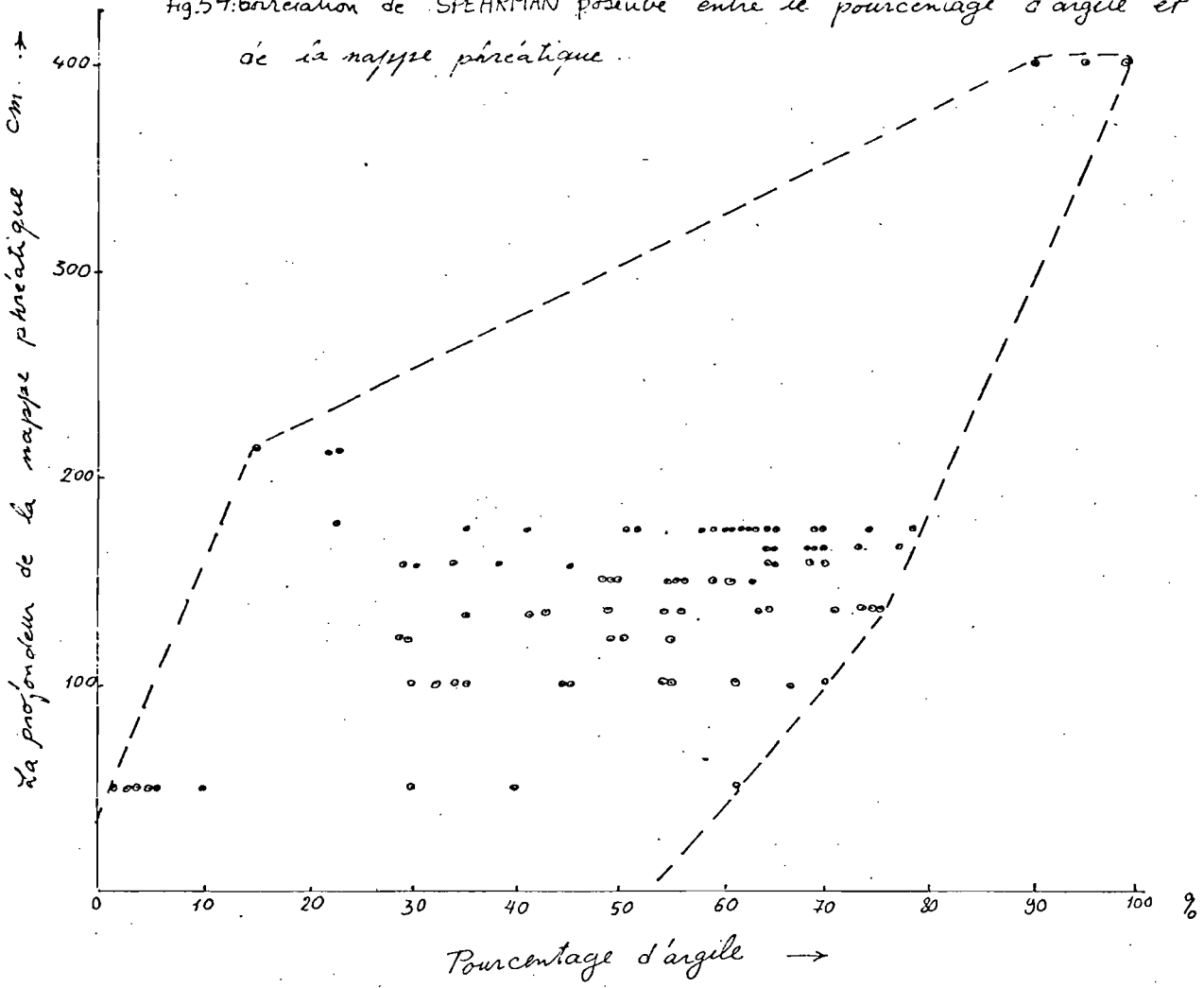


Fig.55 : Corrélation de SPEARMAN positive entre la distance de la mer et la profondeur de la nappe phréatique.

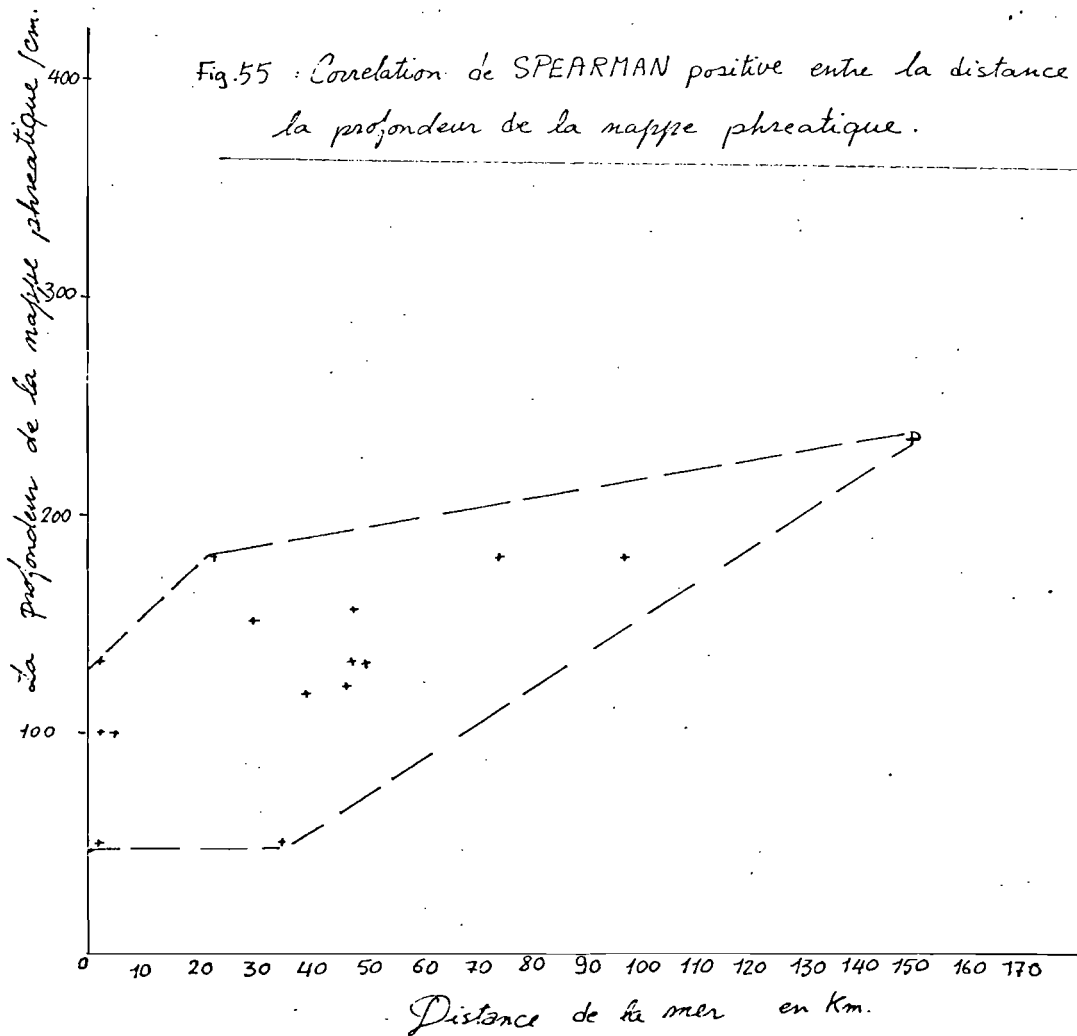


Fig.56 : Correlation de SPEARMAN Positive entre la distance de la mer et la différence  $pH_{H_2O} - pH_{KCl}$  (avec 1% de risque)

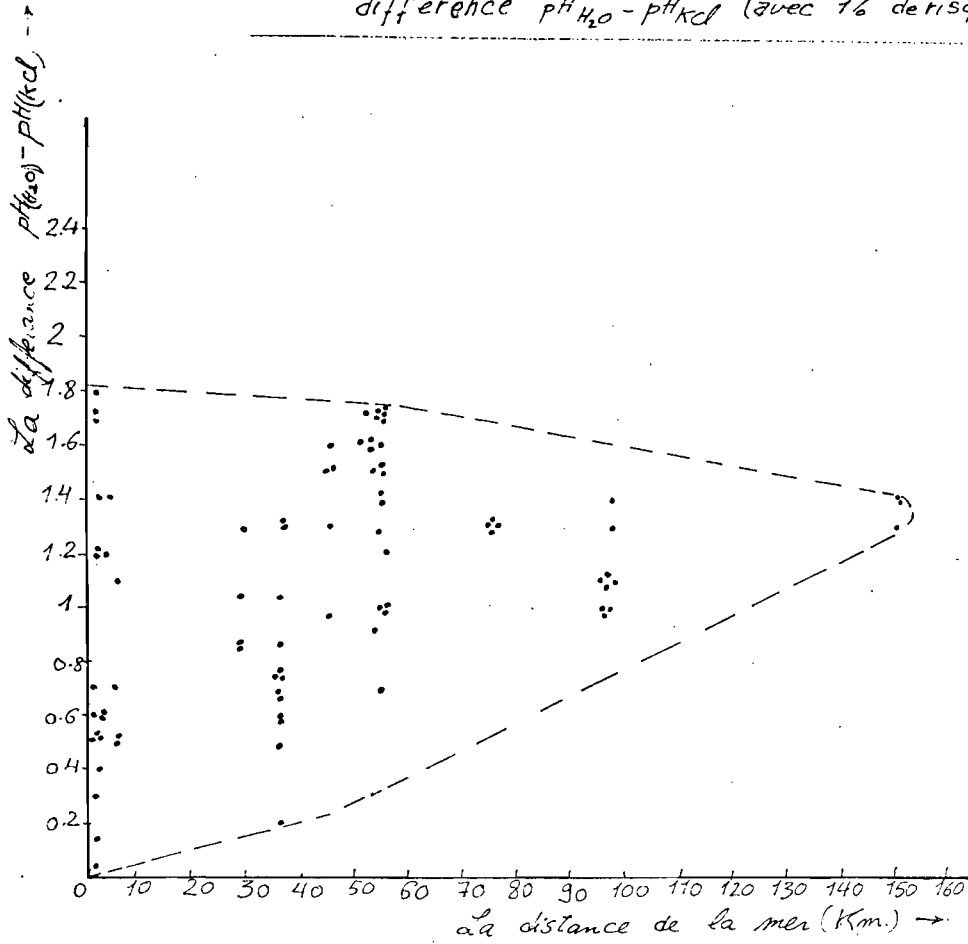
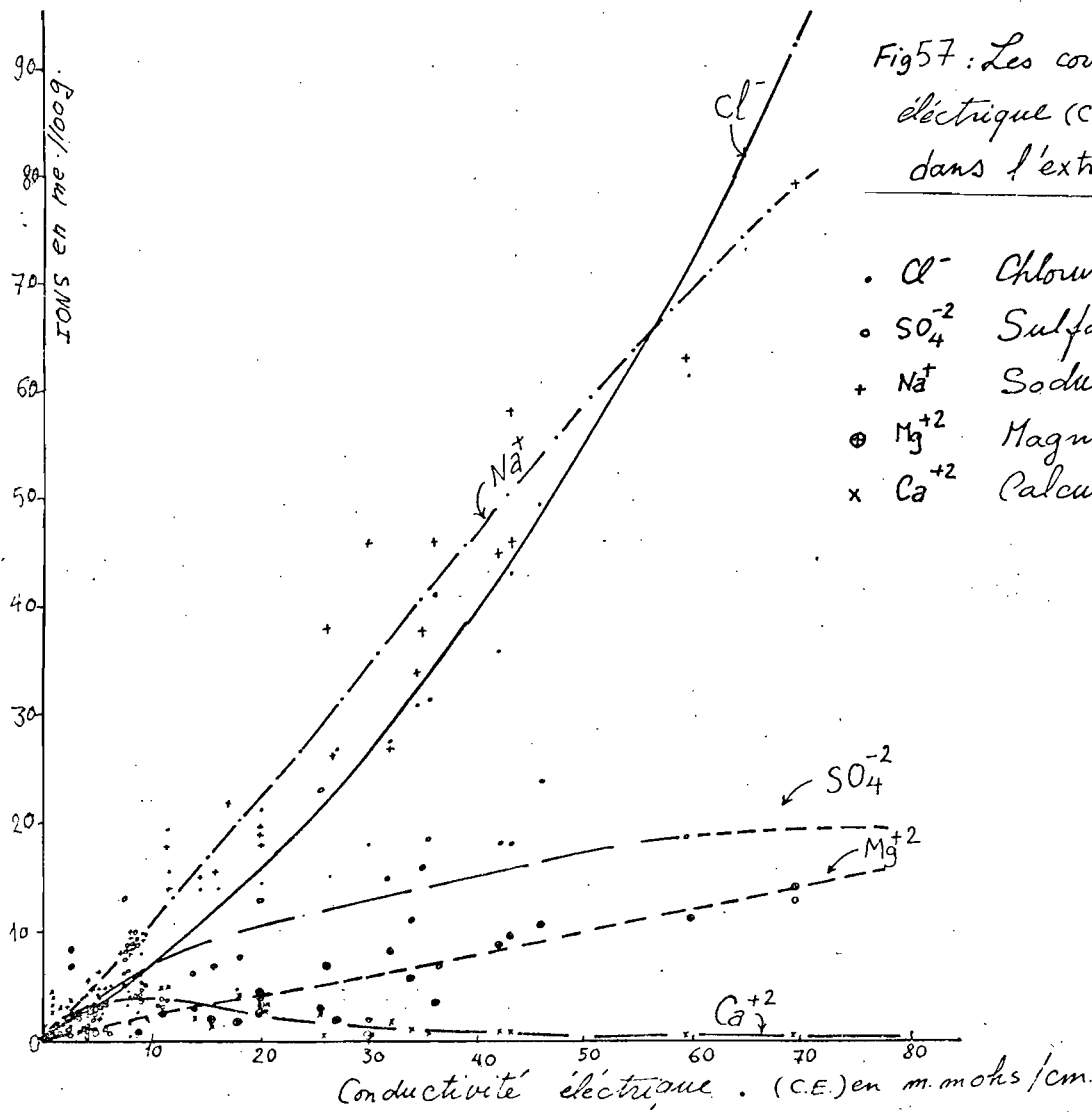


Fig57 : Les correlations entre la conductivité électrique (C.E) et les cations et les anions dans l'extrait au demi des sols.



- $Cl^-$  Chlorures .
- $SO_4^{-2}$  Sulfates .
- +  $Na^+$  Sodium .
- ⊕  $Mg^{+2}$  Magnesium .
- x  $Ca^{+2}$  Calcium .

Entre les teneurs en sulfates solubles et en calcaire total la corrélation est négative à 1% de risque et aussi avec pH (H<sub>2</sub>O) et la différence pH (H<sub>2</sub>O) - pH (KCl).

La corrélation entre le sodium et également le magnésium solubles et pH (H<sub>2</sub>O) ou la différence pH (H<sub>2</sub>O) - pH (KCl) est négative à 1% de risque.

Enfin le pH (H<sub>2</sub>O) a une corrélation négative avec la profondeur de la nappe phréatique à 1% de risque.

Les teneurs en cations et en anions ont été étudiées en fonction de la conductivité électrique suivant le même programme (SPEARMAN). La figure 57 donne les résultats obtenus. La corrélation est toujours positive à 1% de risque. La teneur en chlorures et la salinité augmentent en même temps ; la courbe des chlorures est nettement relevée ; l'augmentation du sodium soluble est un peu moins rapide. Par contre cette salure ne paraît dépendre que légèrement de la teneur en sulfates ; la courbe des teneurs en magnésium soluble se trouve toujours au dessous. Enfin celle du calcium soluble est tout-à-fait différente ; au début le calcium augmente rapidement avec la conductivité électrique jusqu'à environ 5 m.mhos/cm ; au delà il diminue très lentement au fur et à mesure que s'accroît la conductivité électrique.

## II.4.c.- La salure

### Les sols salés du delta du Nil :

L'équipe de la "Soil Survey Section" du ministère d'agriculture de l'Egypte a prospecté les sols du delta entre 1958 et 1968, et les a cartographiés selon le degré de salure de leur horizon de surface. La figure n° 58 indique que les sols de la zone sud sont généralement non salés (conductivité de l'extrait de pâte saturée  $< 4$  m.mhos/cm) mais quelques taches dispersées dans la même région ont des degrés variables de salure, spécialement dans les secteurs liés aux canaux d'irrigation, là où les drains n'existent pas ou ont été négligés.

Le problème de salure devient plus sévère au Nord en approchant de la côte, et autour des lacs. Les sels solubles totaux augmentent en général avec la profondeur en liaison avec la nappe phréatique, (Abdel-Aall, 1971). Les anions sont dans l'ordre  $Cl^- > SO_4^{--} > HCO_3^-$ , et les cations dans l'ordre de  $Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$ ; le sodium soluble arrive à 90%, dans la zone liée aux lacs du Nord. Le magnésium soluble y est plus élevé que le calcium soluble à cause de la contamination par l'eau de la mer. Les teneurs en sulfates sont relativement hautes près du lac Manzala, région près de laquelle se trouve un épais dépôt de gypse exploité industriellement (Abdel-Aall 1971).

Au Sud l'accumulation des sels a été produite à la suite des irrigations pratiquées au siècle dernier, sans que soit installé un système convenable de drainage. Au Nord la salure a été augmentée à cause de l'invasion de l'eau de la mer, des lacs salés du Nord et des petits marais. Cela s'est développé du fait de la faible altitude des lieux et par suite de la remontée de la nappe phréatique. D'après l'équipe de la "Soil Survey Section", les sols contiennent des quantités variables de carbonate et de sulfate de calcium précipités. Le pH est généralement supérieur à 7 et inférieur à 8,5; il augmente en profondeur.

**SCHNOOVER** et al. (1957) et **KOVDA** (1958) ont discuté les problèmes de salure des sols du delta du Nil. Ils ont indiqué que la plus grande partie de la zone nord de la région était submergée par la mer ou par des lacs salés coupés de la mer par les cordons de sable. L'eau de la mer a des effets directs ou indirects sur les sols pendant les tempêtes et les marées.

D'après: SOIL SURVEY SECTION  
 SOILS DEPARTMENT  
 MINISTRY OF AGRICULTURE  
 U. A. R.

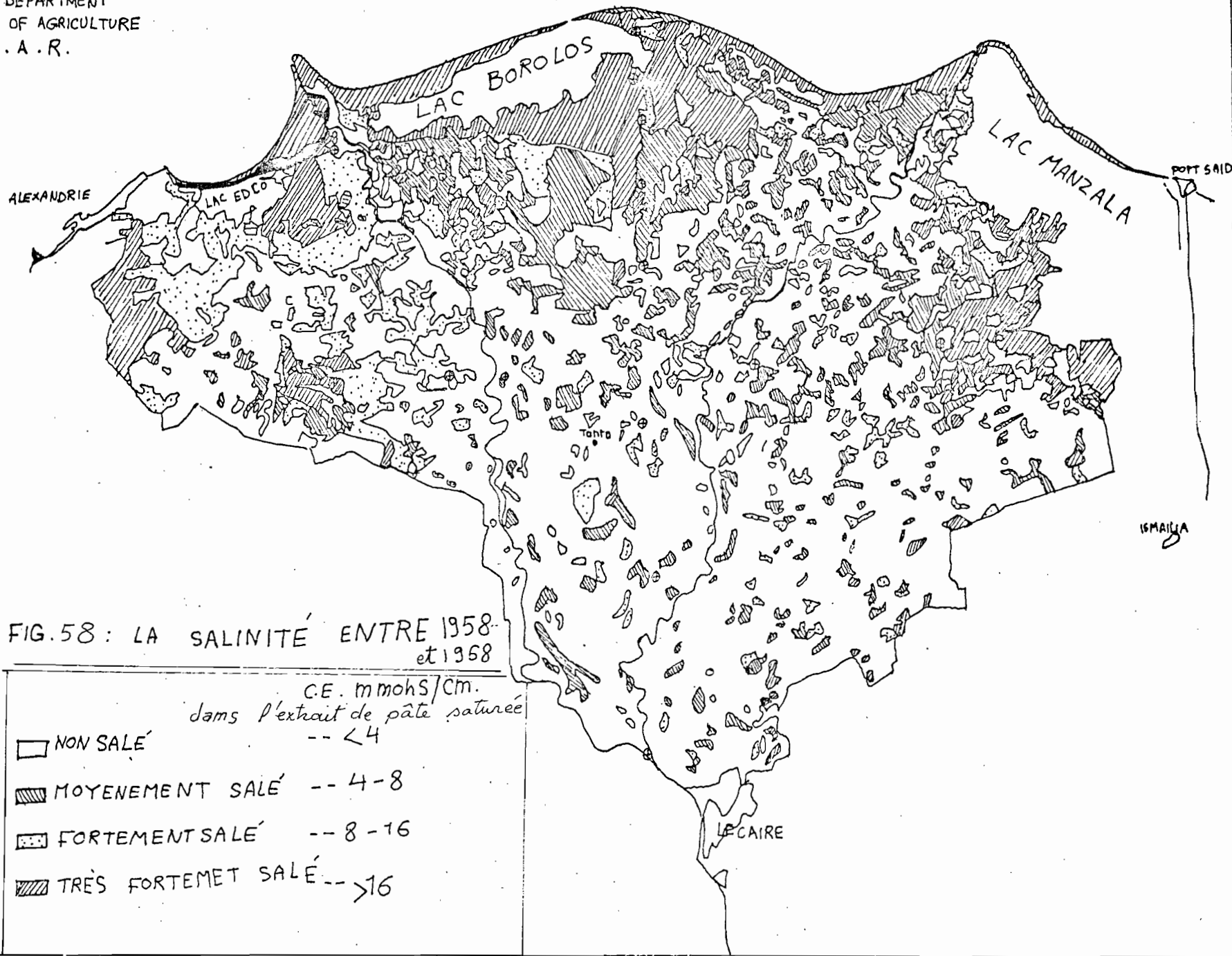


FIG. 58: LA SALINITE ENTRE 1958  
 et 1958

	CE. mmohs/cm.
□ NON SALE	-- < 4
▨ MOYENEMENT SALE	-- 4-8
▤ FORTEMENT SALE	-- 8-16
▩ TRÈS FORTEMENT SALE	-- > 16

*dans l'extrait de pâte saturée*

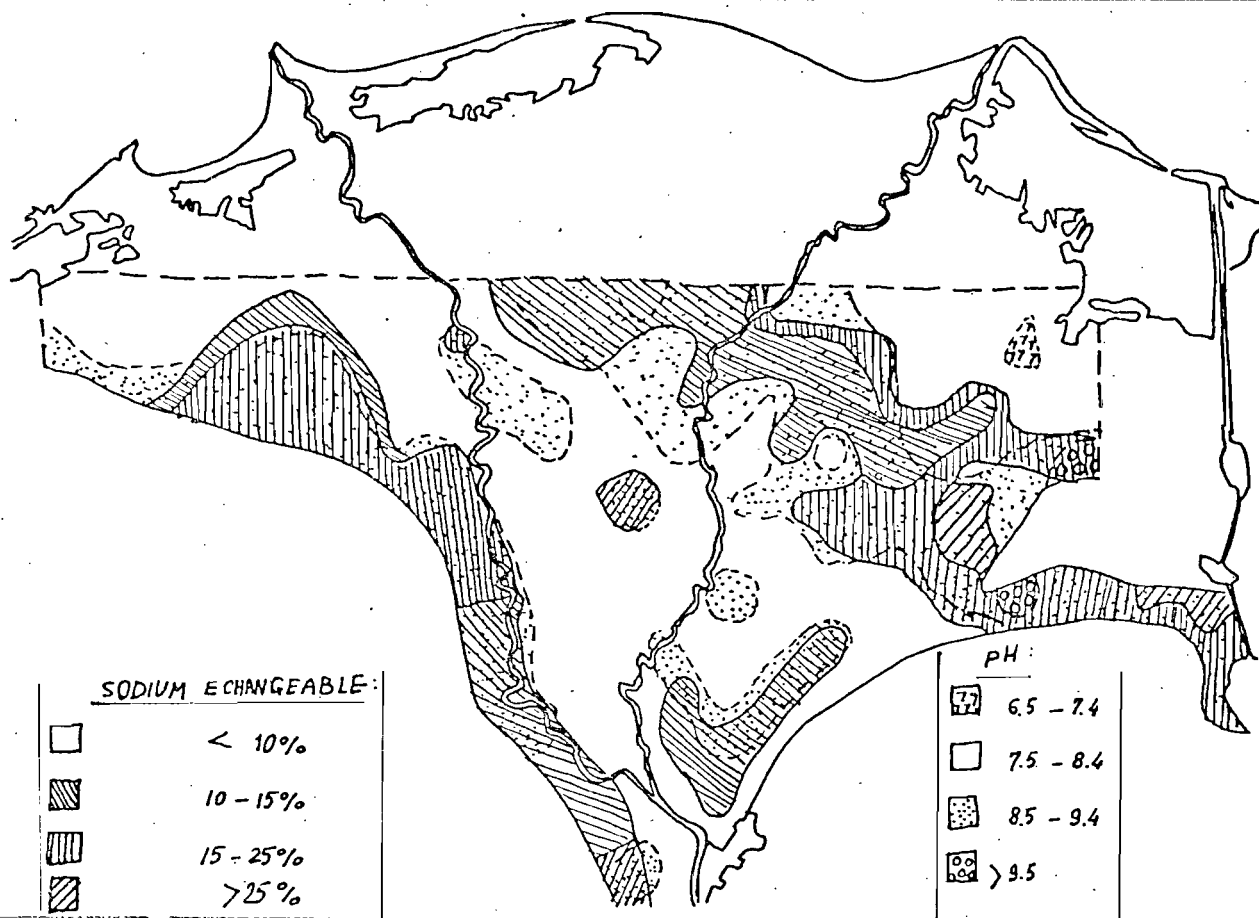
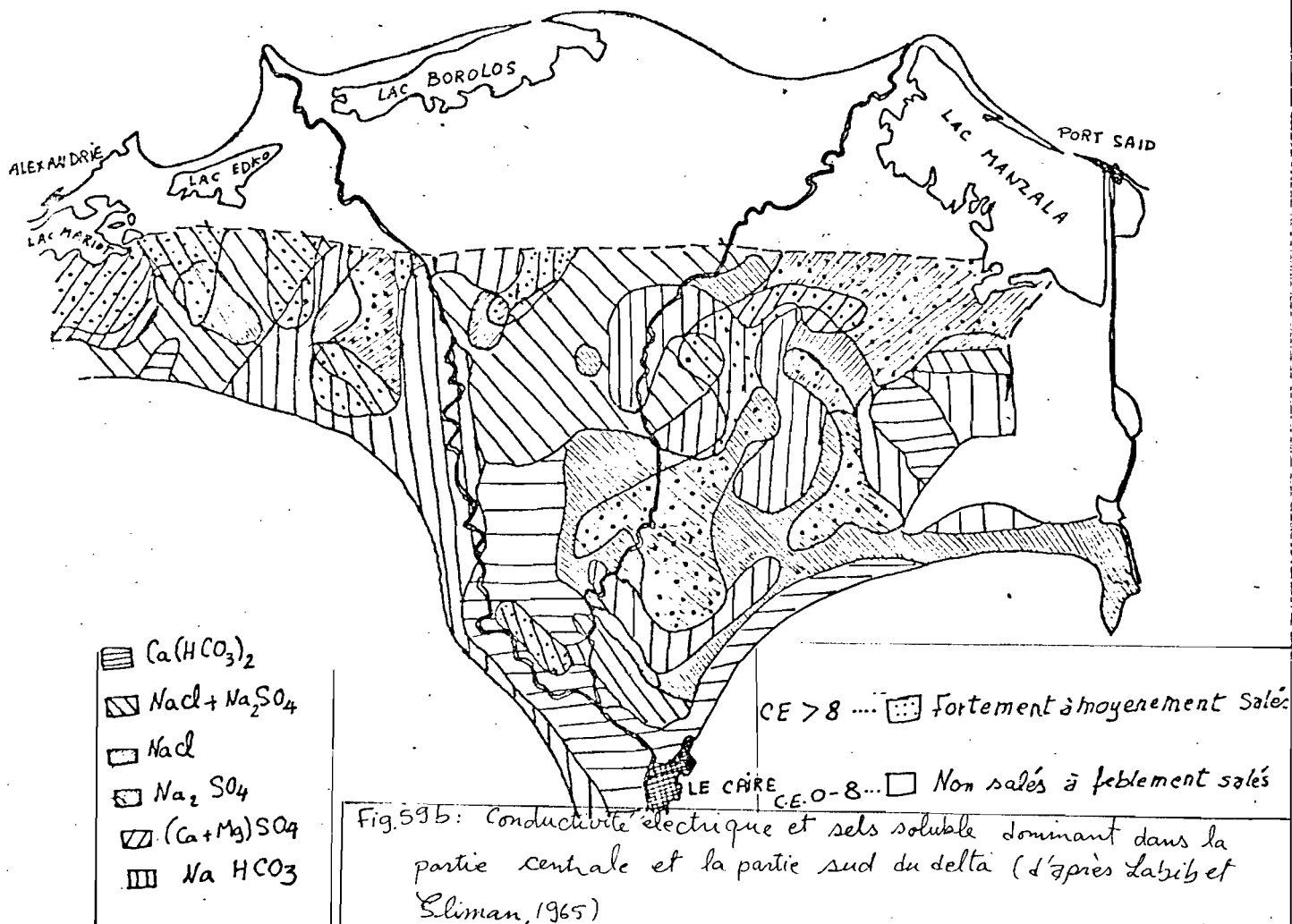


Fig. 59a: Sodium échangeable et pH de la partie sud et la partie centrale du delta (d'après Labib et Sliman, 1965)



Les conditions hydrologiques de la région nord-ouest du delta (Idku) ont été étudiées par Kouda (1958) et Farrag et al. (1963). Ils ont conclu que l'irrigation avec l'eau salée de drainage, la mauvaise infiltration, l'altitude faible et la présence de la pression hydrostatique des branches du Nil sur l'eau de la nappe phréatique sont les facteurs principaux qui causent la salinité et la remontée relative de l'eau de la nappe. Ces sols sont surtout touchés par la salinité et très peu par l'alcalinité (Farrag et al. 1963).

Les caractères de salinité et l'alcalinité des sols de la région nord-est du delta ont été étudiés par Meslref (1974) ; la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée est égale ou inférieure à 4 m.mhos/cm en général, sauf dans la région plus orientale où elle atteint de 8 à 15 m.mhos/cm à cause du niveau de la nappe phréatique relativement élevé (100-130 cm). Généralement le sodium soluble est dominant dans l'extrait du sol et les valeurs de SAR varient entre 2,6 et 20,4. Les anions les plus abondants sont le chlorure et le sulfate. Le bicarbonate est très peu important, et le carbonate n'existe pratiquement pas. Le pH de l'extrait de pâte saturée indique une réaction alcaline assez faible (pH entre 7,1 et 8,3)

Labib et Seliman (1965) ont étudié la partie centrale et la partie sud du delta (Fig. 59a et 59b). Ils ont conclu qu'il y a de grandes variations à travers les couches des profils étudiés. En général les teneurs en sels solubles se situent autour de 0,04 et 0,35%. Les sols à teneurs relativement élevées se trouvent au Nord peut être à cause de l'eau de la mer et de la basse altitude, tandis qu'au Sud et au Sud-Est la salure doit être due, comme nous l'avons indiqué précédemment au mauvais drainage et à la remontée de la nappe phréatique salée ; on observe également la formation de gypse dans quelques couches des profils. Les teneurs augmentent en fonction de la profondeur.

Dans quelques taches diffuses à l'Est et à l'Ouest où les sols sont moins salés, le bicarbonate de Na devient plus important.

D'après les auteurs précités, la plupart des sols de la partie Sud possèdent des pH qui varient entre 7,5 et 8,5. Dans deux régions séparées (à l'ouest de la branche Rosetta, et dans la majorité des provinces Sharkiya et Ismatia à l'est) le pH est plus élevé (9,0-9,5) et encore plus élevé que 9,5 plus à l'est. Dans la zone centrale le pH varie entre 8,5

et 9,4 au Sud-Ouest et au Sud-Est et de 7,5 à 8,4 au Nord-Ouest et au Nord-Est. Plus près du lac Manzala se trouve une zone qui a un pH entre 6,5 et 7,4. Entre les deux branches le pH varie de 7,5 à 8,4 au Sud, et augmente de 8,5 à 9,4 plus au nord.

Il existe une corrélation positive entre la distribution du pH et du sodium échangeable dans les sols ; la plupart des sols à pH 7,5-8,4 présentent une proportion de sodium échangeable inférieure à 10% par rapport à la capacité totale d'échange de sol, et les sols à pH plus élevé que 8,5, en général, ont une teneur en sodium échangeable supérieure à 15%.

Eaton (1950) a discuté la formation des sols alcalins en Egypte. Il a affirmé que l'eau du Nil n'est pas d'une excellente qualité car elle contient suffisamment de bicarbonate pour précipiter tout le calcium et le magnésium, à la suite de l'évaporation. Ceci provoque l'augmentation du "carbonate résiduel" dans l'ensemble de sels solubles dans l'eau, qui cause à son tour l'alcalinisation des sols. Fréquemment la remontée de la nappe phréatique jusqu'à la zone des racines se produit à la suite de l'irrigation.

#### **La salure des sols étudiés :**

D'après les valeurs de la conductivité électrique en fonction de la profondeur\* (Fig. 60) nous avons pu rassembler les neuf profils des sols moyennement ou fortement salés étudiés en 3 groupes :

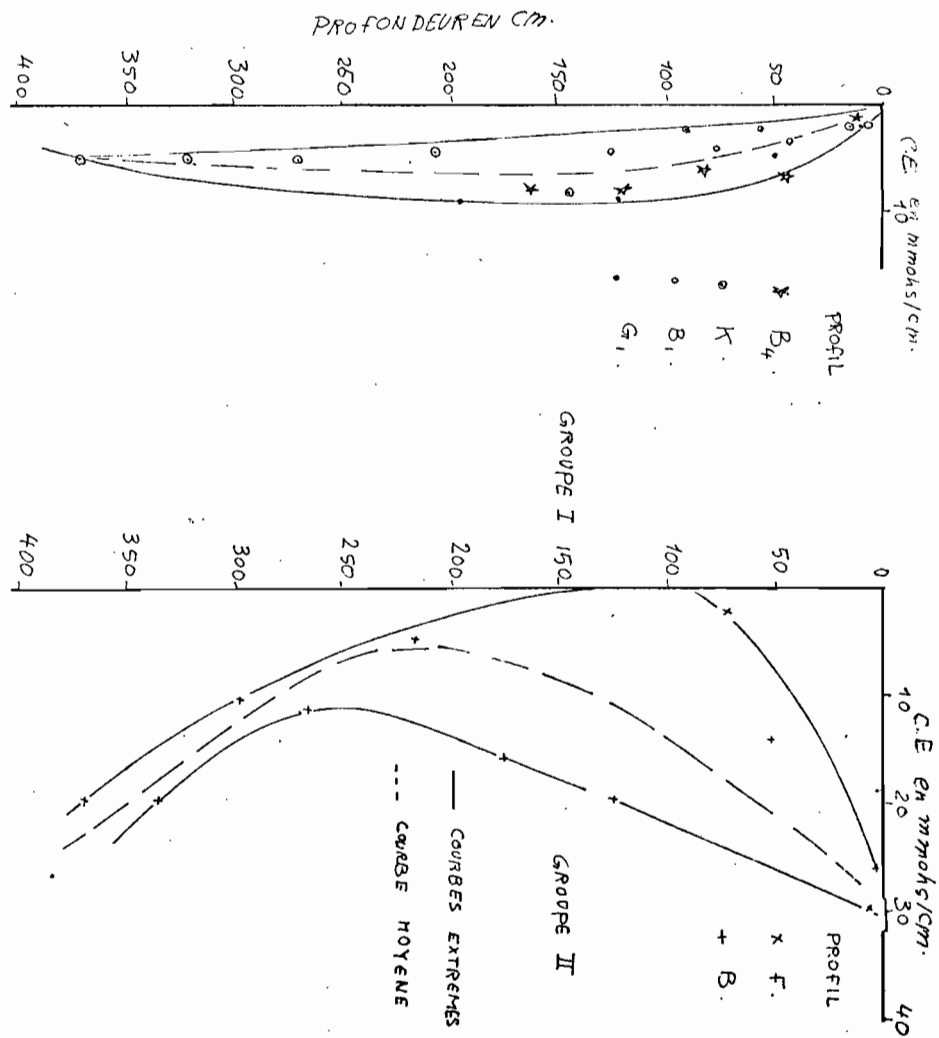
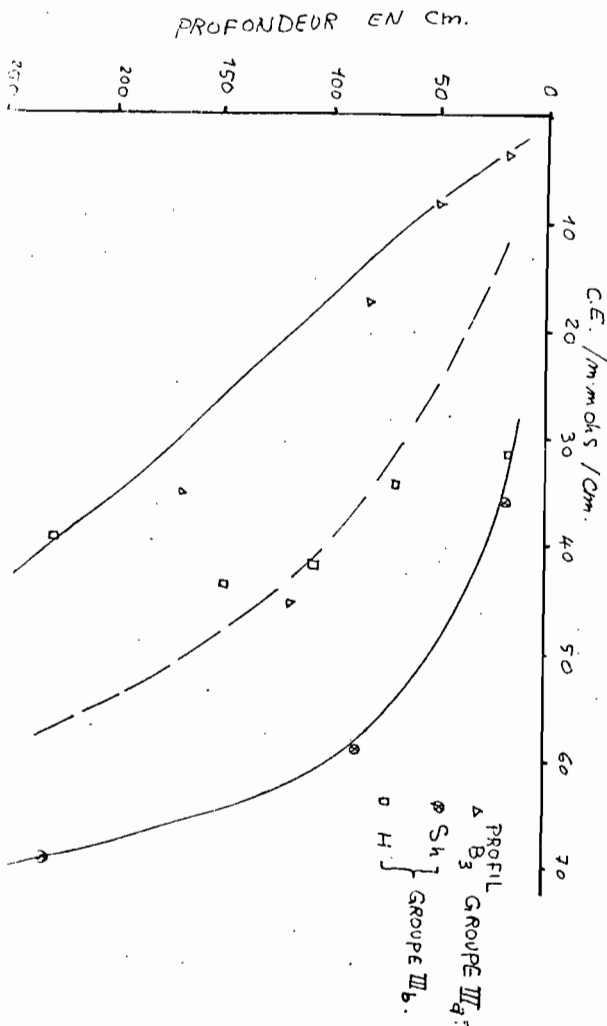
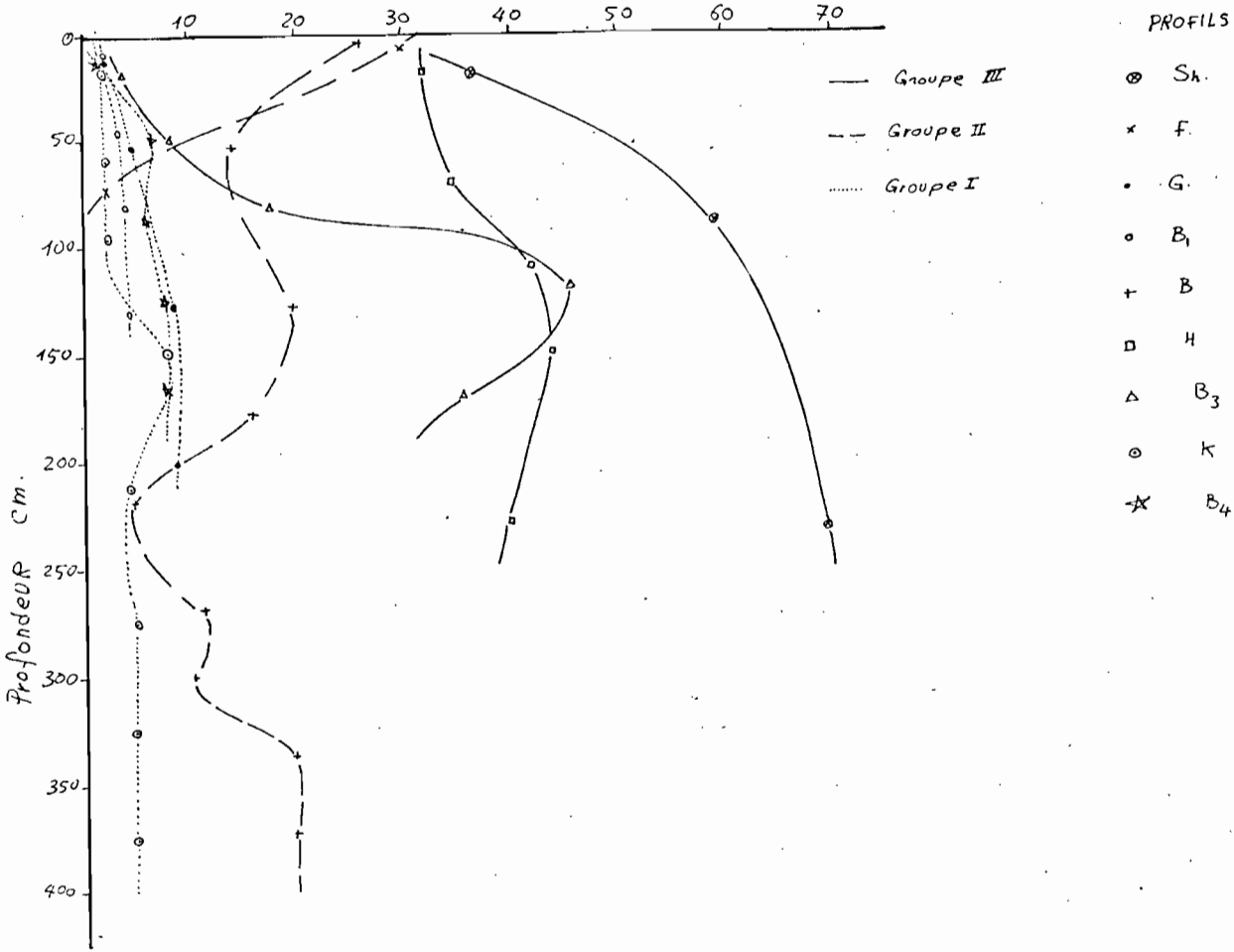
1 - Groupe I : Contient les sols qui ont un profil salin presque constant ou descendant. Leur salure est faible à moyenne dans l'horizon de surface d'où elle a été éliminée par la culture et l'irrigation ; elle est le plus souvent nettement plus forte au dessus ou en profondeur. Les profils S, KS, B4, K, B et G1 font partie de ce groupe car leur conductivité électrique à travers les profils ne dépasse pas 8,5 m.mhos/cm, et est supérieure à 4 m.mhos/cm dans l'horizon de la surface.

2 - Groupe II : Rassemble les sols salés à profil salin ascendant. Il a une forte accumulation des sels solubles en surface sous forme, soit d'efflorescences soit d'un horizon poudreux pseudosable salé. Cela est dû à la remontée de la nappe phréatique sous l'influence de l'eau d'irrigation ou de percolation à partir des canaux.

\* effectué dans la saison humide.

fig. 60 : Distribution de la conductivité électrique avec la profondeur

CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE  $\mu\text{moh/cm}$  dans l'extrait aqueu au demi.



Par mouvement capillaire de l'eau salée remonte vers la surface et la concentration des sels s'y produit. Les profils F et B ont une forte conductivité électrique dès l'horizon de surface ; elle y varie entre 26 et 30 m.mhos/cm contrairement à celui du dessous dont la salinité varie entre 2 et 14 m.mhos/cm.

3 - **Groupe III** : présente les sols à profil descendant, mais la salure reste forte en général. Nous subdivisons ce groupe en deux selon la salure de l'horizon de surface :

- Sous-groupe (a) : Profil B<sub>3</sub> qui a une salure moyenne à la surface (4 m.mhos/cm) qui augmente rapidement en profondeur jusqu'à ce qu'elle atteigne 45 m.mhos/cm à 1,2 mètre de profondeur.

- Sous-groupe (b) : Profils salés à salinité dès l'horizon de surface et qui augmente lentement en profondeur. Les profils H et Sh sont rassemblés dans ce sous-groupe. Leur conductivité électrique est de 32 et 36 m.mhos/cm respectivement à la surface et elle augmente lentement en profondeur jusqu'à atteindre 39 et 96 m.mhos/cm à 150 et 230 cm de profondeur. Cela est probablement dû à la mise en culture et à une irrigation assez récente.

En fonction de la profondeur, les ions solubilisés dans l'extrait aqueux au demi se distribuent de la façon suivante dans les profils des trois groupes (Fig. 61 et 61a et tableau n° 7) :

#### I - Groupe I :

Dans le profil B<sub>1</sub> le chlorure de sodium est très largement dominant (2 à 4,8 me/100g). Il augmente graduellement en profondeur. Les sulfates, ainsi que le calcium et le magnésium sont presque négligeables.

Le profil G<sub>1</sub> est riche en sodium et en chlorure en profondeur mais malgré des quantités importantes de sulfates de calcium et de magnésium, les deux premiers ions dominent sur tout le profil.

Dans le profil K, le sodium et les chlorures dominent dans les horizons où la conductivité électrique est moyenne à assez forte, mais inférieure à 5 m.mhos/cm environ ; c'est-à-dire entre 0 et 115 cm et de 180 à 420 cm de profondeur. Entre 115 et 180 cm la conductivité électrique atteint et dépasse un peu 8 m.mhos/cm ; le calcium et le magnésium ainsi que les sulfates augmentent et leur proportion est d'environ 50%

de la totalité des cations et des anions respectivement. Cela est dû à l'accumulation des microcristaux de gypse que l'on peut observer optiquement (voir la micromorphologie).

Dans le profil B<sub>4</sub>, les sulfates dominent ainsi que le sodium mais il diminue en profondeur entre 150 et 190 cm où le calcium et le magnésium atteignent leur maximum. L'augmentation des sulfates de calcium et de magnésium peut-être due à divers produits (superphosphates) ajoutés en quantité excessive en vue d'améliorer le sol, et souvent riches en sulfates tels que gypse, engrais etc... Nous reconnaissons cependant que cela n'explique pas la richesse en magnésium des horizons profonds.

## 2 - Groupe II.

- Profil B : en général il est riche en chlorures et en sodium dans tout le profil, mais il présente des quantités importantes de sulfates de calcium et de magnésium en surface et de 110 à 160 cm dans les horizons où la teneur en sels augmente. Les observations micromorphologiques des lames minces de ce profil, indiquent des accumulations de microcristaux de gypse dans l'horizon de 110 à 160 cm de profondeur, mais non en surface.

- Le profil F est tout-à-fait différent, car à la surface il y a une forte accumulation des carbonates et bicarbonates de sodium avec une quantité importante de chlorures et faible de sulfates. Cette richesse en carbonate de sodium provoque une réaction fortement alcaline (pH 10,2).

## 3 - Groupe III.

IIa : Dans le profil B<sub>3</sub> le sodium et les chlorures sont dominants en général et augmentent graduellement avec la profondeur jusqu'à 140 cm où la conductivité électrique atteint son maximum (45,75 m.mhos/cm. Les sulfates et le magnésium y deviennent aussi relativement importants. A 140 cm se trouve la nappe phréatique fortement salée (C.E. 74,13 m.mhos/cm).

Dans le profil H, malgré la dominance des ions Cl<sup>-</sup> et Na<sup>+</sup>, il y a une proportion importante de sulfates de calcium et de magnésium dans tout le profil. Cela correspond à la présence des cristaux de gypse observés

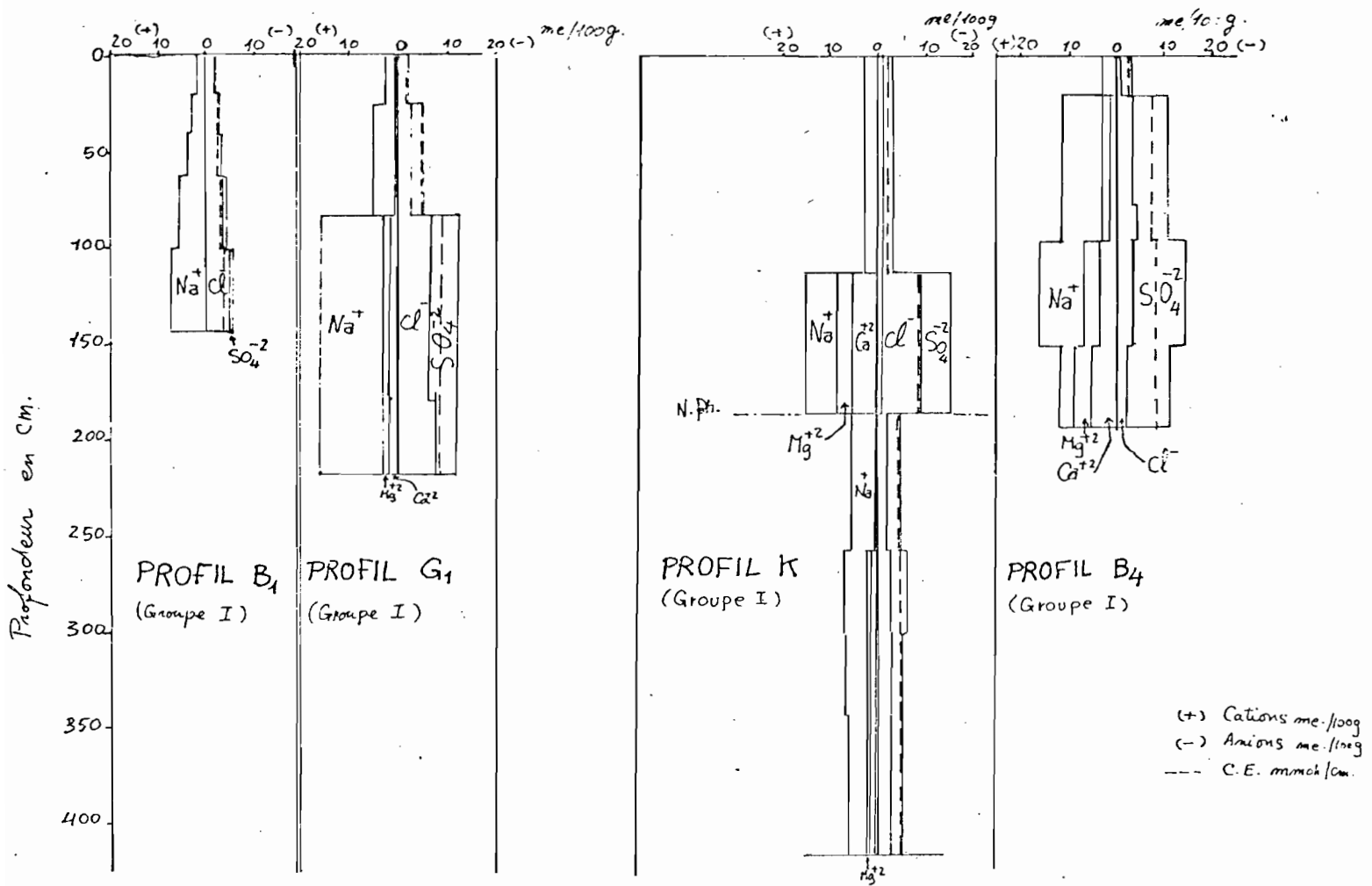
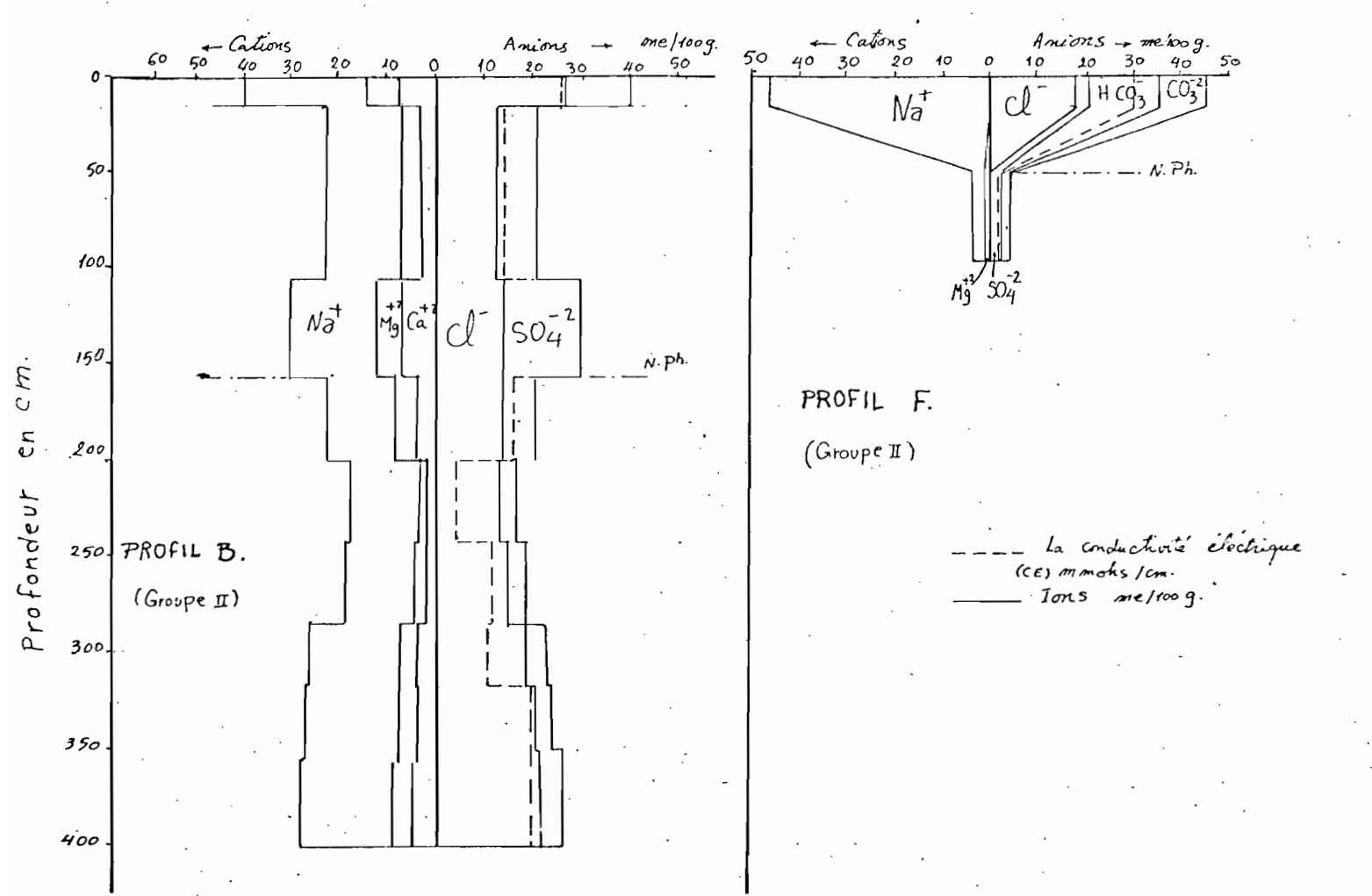


Fig 61 : Profils de salure.



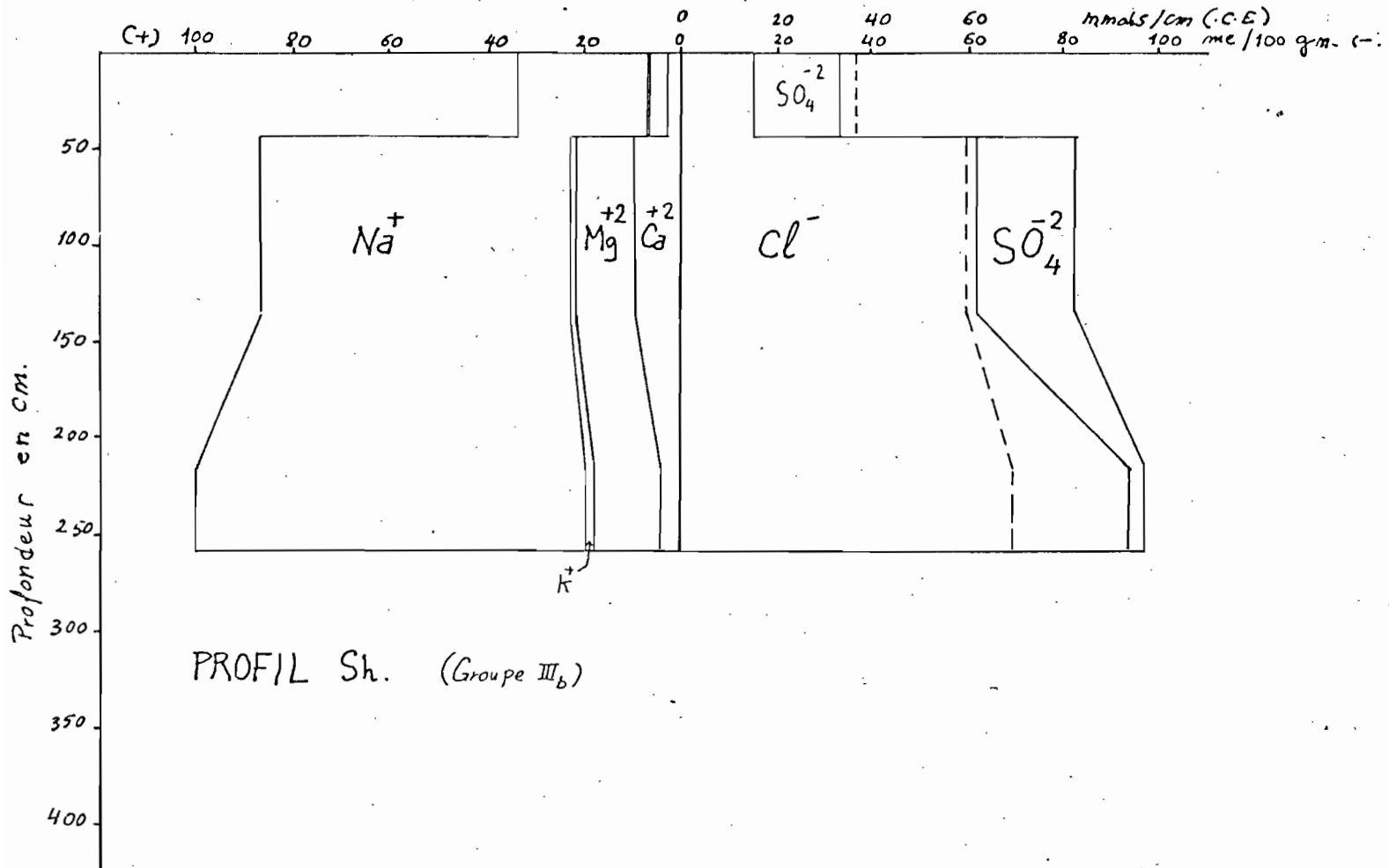
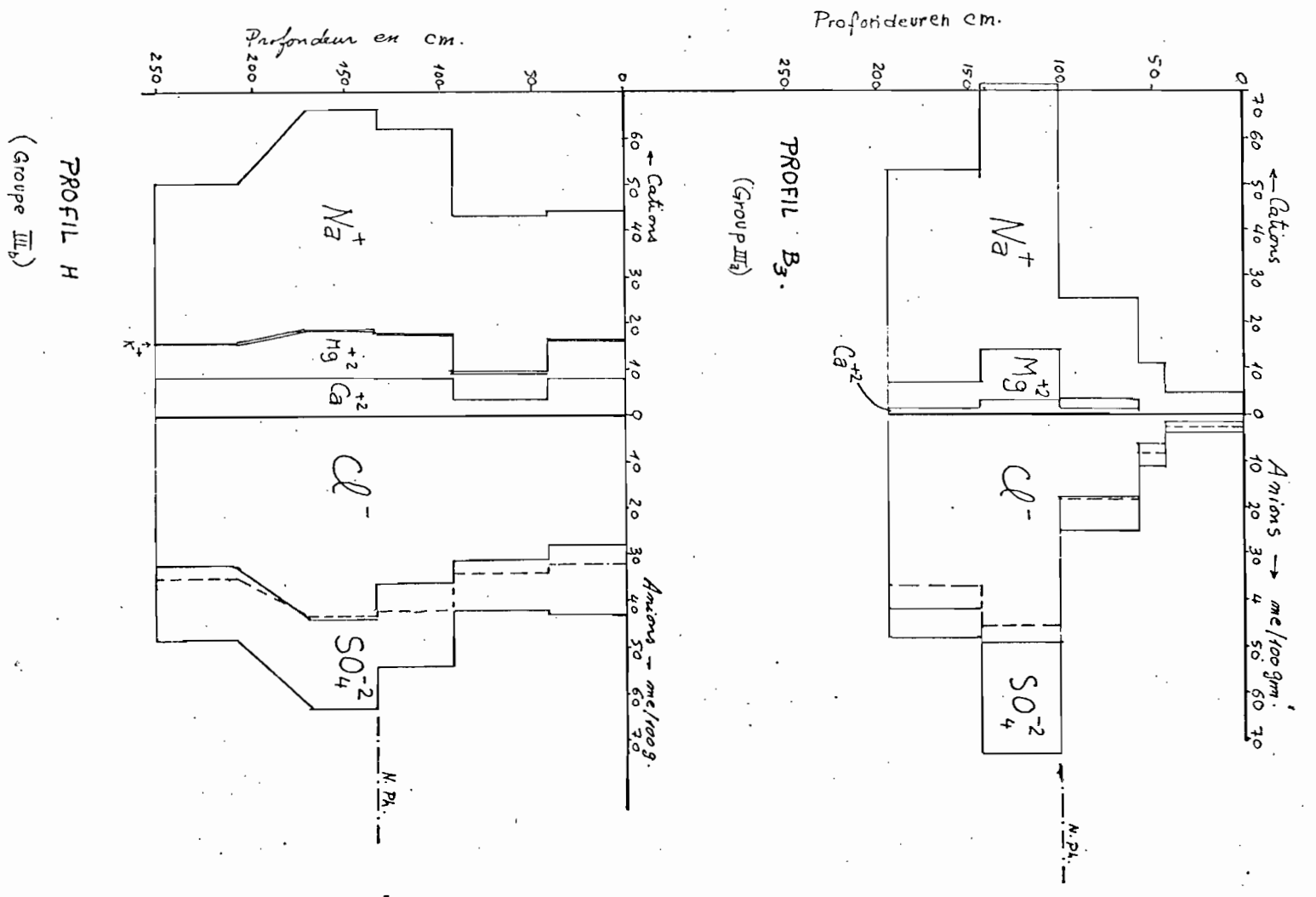


Fig 61a: Profils de salure



au microscope et indiqués dans le chapitre sur la micromorphologie de ces sols. Nous ne les avons observés que dans les couches de 0 à 130 cm de profondeur, car à ce niveau se trouve la nappe phréatique.

Enfin, dans le profil Sh qui est excessivement salé, les sulfates dominent à la surface et diminuent relativement dès 40 cm où  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  deviennent les ions les plus abondants. Les analyses micromorphologiques ont indiqué l'existence de gypse sous forme des microcristaux à la surface. Ceux-ci ne s'observent plus en profondeur (130-180 cm). Cela peut provenir des apports de gypse fréquemment et récemment encore réalisés en surface comme amendement.

#### Les cations échangeables :

Les cations échangeables : potassium, sodium, calcium magnésium ont été déterminés dans quelques échantillons des profils à réaction très alcaline (tableau n° 7). Le profil B<sub>3</sub> est riche en  $\text{Na}^+$  échangeable (32,25 à 36,90%), comme en  $\text{Mg}^{+2}$  échangeable (10,84 et 10,67 me/100g, soit 27,5% et 29,7%) en surface où le pH est de 9,3 et 8,9 respectivement. Celui-là diminue de 100 à 140 cm de profondeur où le pH est légèrement acide (6,6) et la matière organique atteint 5,14%.

Le profil F montre une très forte proportion de sodium échangeable (91,15%) à la surface qui diminue en profondeur jusqu'à 17,38%. Le pH est en général supérieur à 10. Carbonates et bicarbonates de sodium sont très élevés. Leur somme atteint 25,2 me/100g de 0 à 15 cm et encore de 1,65 me/100g (essentiellement de 50 à 90cm du bicarbonate).

Dans le profil B<sub>1</sub>, le sodium échangeable augmente régulièrement de 4,71% à 33,57%, puis à 45,06% où le pH augmente aussi de 8,6 à 9,9 puis à 9,1 respectivement, aux profondeurs de 0 à 20cm, de 65 à 72 cm et de 102 à 140cm.

Le profil S<sub>1</sub> a une réaction élevée en surface puis, moyennement basique en général ; le pH diminue lentement avec la profondeur de 9 à 8. Les proportions en  $\text{Na}^+$  échangeable sont moyennes ; elles sont de 14,9 et 14,0% ; de 0 à 40 cm et de 40 à 80 cm respectivement ; par contre le Mg échangeable est important : 34,9% et 39,6%.

Dans le profil K<sub>1</sub> les pourcentages de  $\text{Na}^+$  échangeable sont faibles, ils sont de 2,2 et 2,4% de 0 à 20 cm et de 20 à 45 cm de profondeur. Le pH de ces deux horizons est à 8,8. Le Mg échangeable ne re-

présente que 25,9% en surface, mais déjà 34,5% de 20 à 45cm.

Le profil S a des pourcentages de  $\text{Na}^+$  échangeables faibles en général, mais qui augmentent de 6,6% de 0 à 20cm, à 9,6% de 20 à 50cm et enfin de 8,4 de 210 à 250cm. Les pourcentages de Mg échangeable y sont respectivement de 35,0%, 36,6% et 39,0%. Le pH de ces horizons est de 8,7, de 8,8 et de 9 respectivement.

Le profil Ks montre des valeurs de  $\text{Na}^+$  échangeable faibles en surface (3,8%) ; elles augmentent jusqu'à 16,5% de 90 à 120cm de profondeur. Le pH de ces deux horizons est de 8,5 et 9,3 respectivement.

Dans le profil E.B., la teneur en  $\text{Na}^+$  échangeable augmente régulièrement de 2,5 à 11,1, puis à 15,2% où le pH est de 8,9, de 9,0 et de 9,1 aux profondeurs de 0 à 30, de 30 à 70 et de 70 à 150cm respectivement. Dans les mêmes trois niveaux de ce profil, les teneurs en Mg échangeable correspondent à 32,4%, 36,6% et 14,71%.

TABLEAU 7 - Caractères de salure des sols

(\*) cristaux de gypse.

Echantillons	C.E. en m.mhos/cm		Eléments solubles d'extrait H <sub>2</sub> O au demi en me/100 gr.								Cations échangeables				
	de la nappe phréatique	de l'extrait H <sub>2</sub> O au demi	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup> %
Sh 0-40 <sup>+</sup>		26,6	0,14	0,07	15,00	18,40	0,53	26,97	9,68	3,49	-	-	-	-	-
Sh 40-130		59,3	0,14	0,07	61,40	19,10	0,99	63,68	9,25	11,79	-	-	-	-	-
Sh 220-260		69,6	0,27	0,007	93,40	3,00	1,45	79,17	3,75	13,94	-	-	-	-	-
B <sub>3</sub> 0-40		3,0	-	-	2,00	2,20	0,12	3,98	0,02	0,16	4,22	15,05	12,36	10,84	32,3
B <sub>3</sub> 40-60		8,4	-	-	6,70	3,95	0,22	10,44	0,02	0,33	4,04	11,94	9,61	10,67	32,9
B <sub>3</sub> 60-100		17,9	-	-	17,75	7,60	0,56	21,75	1,30	1,99	-	-	-	-	-
B <sub>3</sub> 100-140	74,1	45,8	0,00	0,00	49,00	2,40	1,69	58,12	2,70	10,99	5,69	13,36	15,18	1,58	36,9
B <sub>3</sub> 140-180		39,4	0,35	0,00	41,50	6,80	1,14	46,11	1,60	5,41	-	-	-	-	-
H 0-40 <sup>+</sup>		33,0	0,22	0,07	27,50	15,00	0,51	27,67	7,92	7,97	-	-	-	-	-
H 40-90 <sup>+</sup>		34,1	0,22	0,05	30,77	11,00	0,33	33,58	3,52	5,39	-	-	-	-	-
H 90-130 <sup>+</sup>		42,1	0,17	0,07	35,80	18,0	0,42	44,89	7,80	8,88	-	-	-	-	-
H 130-170	-	43,2	0,10	0,00	43,00	18,20	0,43	47,68	8,60	9,79	-	-	-	-	-
H 210-250		35,6	0,10	0,00	31,35	16,30	0,41	37,93	8,20	7,64	-	-	-	-	-
B 0-20		26,7	0,35	0,15	27,00	13,50	0,14	27,93	7,20	6,72	-	-	-	-	-
B 20-110		14,6	0,38	0,10	13,75	6,50	0,09	15,31	3,35	2,66	-	-	-	-	-
B 110-160 <sup>+</sup>		20,0	0,30	0,10	14,35	13,40	0,13	17,84	6,70	4,65	-	-	-	-	-
B 160-200	15,2	16,0	0,30	0,07	13,75	7,20	0,14	15,49	3,70	2,99	-	-	-	-	-

B	200-240		4,0	-	-	13,75	3,30	0,12	13,92	1,75	1,66	-	-	-	-	-
B	240-280		11,7	-	-	15,25	2,80	0,11	14,09	2,00	2,08	-	-	-	-	-
B	280-320		11,4	-	-	19,50	3,20	0,13	17,84	3,35	2,99	-	-	-	-	-
B	320-360		20,0	-	-	21,25	2,95	0,12	18,79	3,00	3,17	-	-	-	-	-
B	360-400		20,0	-	-	22,25	3,00	0,13	19,58	3,70	3,83	-	-	-	-	-
F	0-15		30,2	15,20	10,00	18,00	2,8	0,37	45,94	0,01	0,00	2,14	50,24	2,74	0,00	91,2
F	50-90	7,8	2,1	1,55	0,10	0,60	2,3	0,08	2,72	0,06	0,95	0,76	1,62	5,44	0,50	17,4
K	0-30		2,0	0,95	0,00	0,60	1,00	0,13	2,00	0,04	0,25	-	-	-	-	-
K	30-80		2,5	-	-	0,70	1,00	0,02	2,79	0,03	0,25	-	-	-	-	-
K	80-115		2,4	0,65	0,00	0,65	2,00	0,01	2,78	0,02	0,14	-	-	-	-	-
K	115-180 <sup>+</sup>		8,1	0,40	0,00	6,80	6,50	0,04	6,26	5,10	2,83	-	-	-	-	-
K	180-220	15,8	4,3	-	-	2,20	2,40	0,02	4,35	0,08	0,74	-	-	-	-	-
K	220-260		4,8	-	-	2,70	3,00	0,02	4,52	0,09	0,83	-	-	-	-	-
K	260-300		4,4	0,30	0,00	2,90	3,60	0,02	4,18	1,60	0,82	-	-	-	-	-
K	300-340		4,6	-	-	3,10	3,00	0,02	3,83	1,20	0,92	-	-	-	-	-
K	340-380		5,1	-	-	3,25	2,10	0,04	4,35	1,25	0,08	-	-	-	-	-
K	380-420		4,4	-	-	2,90	2,00	0,02	3,76	1,25	0,92	-	-	-	-	-
B <sub>4</sub>	0-30		2,6	0,55	0,00	0,60	2,00	0,04	2,54	0,07	0,49	-	-	-	-	-
B <sub>4</sub>	30-80		7,7	-	-	3,00	8,70	0,05	8,35	1,60	1,33	-	-	-	-	-
B <sub>4</sub>	80-95		7,3	0,30	0,00	3,80	7,50	0,02	8,00	1,20	1,17	-	-	-	-	-
B <sub>4</sub>	95-150		8,5	-	-	2,80	10,90	0,04	8,35	3,40	2,83	-	-	-	-	-
B <sub>4</sub>	150-190	-	8,5	-	-	2,00	8,85	0,06	2,74	5,00	3,49	-	-	-	-	-

S	0-20		1,9	-	-	-	-	0,09	1,78	0,02	0,23	2,31	2,56	20,61	13,53	6,56
S	20-50		1,9	-	-	-	-	0,04	2,12	0,02	0,12	2,60	3,89	19,23	15,01	9,6
S	50-85		1,9	-	-	-	-	0,02	2,47	0,01	0,06	-	-	-	-	-
S	85-130		1,9	-	-	-	-	0,01	2,71	0,01	0,09	-	-	-	-	-
S	130-170		1,4	-	-	-	-	0,01	1,69	0,03	0,33	-	-	-	-	-
S	210-250		1,4	-	-	-	-	0,01	1,57	0,02	0,12	0,68	3,44	20,61	16,38	8,4
Hs	0-30		3,5	-	-	-	-	0,09	3,41	0,06	0,59	2,43	1,27	17,82	11,78	3,8
Ks	30-90		3,4	-	-	-	-	0,07	3,48	0,02	0,19	-	-	-	-	-
Ks	90-120		1,4	-	-	-	-	0,02	1,53	0,02	0,18	1,57	5,16	15,11	9,44	16,5
Ks	120-160		1,2	-	-	-	-	0,02	2,47	0,01	0,37	-	-	-	-	-
Ks	280-320		2,4	-	-	-	-	0,02	2,69	0,01	0,12	-	-	-	-	-
E.B.	0-30		1,4	-	-	-	-	0,05	1,57	0,03	0,31	2,09	0,94	21,97	12,38	2,5
E.B.	30-70		1,7	-	-	-	-	0,03	1,83	0,02	0,29	2,28	4,52	19,23	14,84	11,1
E.B.	70-150		2,2	-	-	-	-	0,03	2,61	0,01	0,22	1,80	6,74	20,62	5,28	15,2
E.B.	150-190	5,3	2,2	-	-	-	-	0,01	2,52	0,02	0,20	-	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	0-30		0,2	-	-	-	-	0,07	0,39	0,02	0,22	-	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	30-53		0,8	-	-	-	-	0,06	0,71	0,01	0,08	-	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	53-90	4,1	0,8	-	-	-	-	0,06	0,68	0,02	0,22	-	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	90-130		0,8	-	-	-	-	0,04	0,63	0,02	0,12	-	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	130-170		0,7	-	-	-	-	0,06	0,35	0,01	0,12	-	-	-	-	-
G <sub>1</sub>	0-35		0,7	-	-	-	-	0,02	0,37	0,04	0,12	-	-	-	-	-
G <sub>1</sub>	35-90		0,7	-	-	-	-	0,01	0,45	0,03	0,11	-	-	-	-	-
G <sub>1</sub>	90-150		1,1	-	-	-	-	0,01	0,75	0,04	0,20	-	-	-	-	-
G	150-180	1,1	0,9	-	-	-	-	0,01	0,41	0,04	0,22	-	-	-	-	-

$G_1$	0-30		2,0	-	-	1,42	0,97	0,06	1,84	0,04	0,41	-	-	-	-	-
$G_1$	30-80		4,5	-	-	2,65	2,0	0,03	4,52	0,05	0,55	-	-	-	-	-
$G_1$	80-180		8,7	-	-	6,45	4,60	0,07	8,35	1,65	1,33	-	-	-	-	-
$G_1$	180-220		8,7	-	-	7,55	3,70	0,09	8,61	1,80	1,42	-	-	-	-	-
$B_1$	0-20		1,7	-	-	-	-	0,04	1,85	0,02	0,23	1,43	1,62	19,23	12,15	4,7
$B_1$	20-40		2,0	-	-	-	-	0,07	2,71	0,02	0,27	-	-	-	-	-
$B_1$	40-65		3,6	-	-	-	-	0,12	4,35	0,03	0,69	-	-	-	-	-
$B_1$	65-72		4,1	-	-	1,90	0,60	0,09	5,66	0,01	0,11	2,93	8,37	8,24	5,39	33,6
$B_1$	72-102	17,0	4,1	-	-	4,67	0,90	0,06	5,56	0,01	0,10	-	-	-	-	-
$B_1$	102-140		5,9	-	-	4,80	0,40	0,08	7,40	0,01	0,10	3,49	15,18	6,87	8,15	45,1
$S_1$	0-40		2,5	-	-	-	-	0,02	3,48	0,75	0,50	1,79	6,34	19,88	14,62	14,9
$S_1$	40-80		2,2	-	-	-	-	0,04	3,59	0,65	0,40	2,24	6,66	18,50	20,23	14,0
$S_1$	80-120		1,4	0,85	0,00	-	-	0,01	1,76	0,02	0,22	-	-	-	-	-
$S_1$	120-170		1,1	-	-	-	-	0,02	1,51	0,03	0,32	-	-	-	-	-
$S_1$	170-200		1,2	0,95	0,00	-	-	0,02	1,71	1,35	2,42	-	-	-	-	-
$S_1$	280-320		1,6	0,65	0,00	-	-	0,02	3,62	1,20	1,75	-	-	-	-	-
$S_1$	360-400		7,8	-	-	0,20	13,00	0,06	4,61	5,45	3,49	-	-	-	-	-
$K_1$	0-20		0,7	-	-	-	-	0,04	0,43	0,02	0,12	1,21	0,57	17,86	6,75	2,2
$K_1$	20-45		0,6	-	-	-	-	0,01	0,33	0,02	0,19	0,37	0,67	17,86	9,62	2,4
$K_1$	45-75		0,7	-	-	-	-	0,01	0,43	0,02	0,21	-	-	-	-	-

## II. 5 - Les caracteres mineralogiques

### La composition mineralogique des sols du delta.

D'après Ball (1938), les dépôts deltaïques ne sont pas très différents des matériaux solides transportés dans la rivière actuelle, sauf quelques modifications dans les teneurs en alumine et en fer libre et en calcaire qui augmentent dans les sols du delta par rapport aux matériaux alluviaux ainsi qu'en  $Mg SO_4$  qui diminuent.

Les études ont prouvé que les minéraux des dépôts deltaïques et des suspensions du Nil sont semblables aux constituants minéralogiques des éléments en suspension dans le Nil Bleu et par là à ceux des roches du plateau Ethiope.

### II. 5. A - La composition mineralogique des sables (50-500 $\mu$ )

#### Les minéraux légers :

D'après Khadr (1960) le sable fin des alluvions du Nil contient 70 à 80% de quartz et de 10 à 17% de feldspaths potassiques. Ces deux constituants d'origine non basaltique peuvent provenir de roches du complexe de base et/ou du grès mézozoïque. Il contient aussi de 3 à 6% d'albite, de 2 à 4% de plagioclases, de 1 à 2% de muscovite et des traces d'andésine.

Burinsk (1971) a étudié les dépôts du Nil Bleu à Damazin, près de la frontière éthiopienne. Il trouve qu'ils contiennent dans la fraction de 105 à 210  $\mu$ , de 50 à 60% de quartz de forme anguleuse et subanguleuse. Alors que dans la fraction de 210 à 500  $\mu$  la proportion de quartz augmente à 75%. Cela peut-être attribué à l'influence du grès quartzueux mézozoïque qui occupe des grandes surfaces dans le bassin du Nil Bleu en Ethiopie. Ce quartz diminue de 50 à 35% dans la fraction de 50 à 105  $\mu$ . Par ailleurs, les verres volcaniques existent dans ces sables ; ils augmentent jusqu'à 7% dans la fraction fine (50-105  $\mu$ ) ; la biotite, elle, s'y trouve dans des proportions de 5 à 13%. Ces deux derniers peuvent en fait provenir d'éléments basaltiques transportés par les crues. Il existe aussi de la calcite (1-6%) et des zéolites (2-3%). L'origine des zéolites a été discutée par Hay (1966). Elles proviendraient de l'altération des feldspaths contenus dans des allu-

vions d'éléments basaltiques provenant de formations qui sont peut-être d'origine tertiaire.

Les différences entre les résultats de Khadr et ceux de Buurisink sont probablement dues à l'utilisation par le premier d'un traitement des sables par l'acide qui a détruit le calcaire et d'autres minéraux peu résistants.

Sur le plan de ces minéraux légers des sables les similitudes sont importantes entre ceux des alluvions du Nil Bleu et ceux des matériaux du delta égyptien.

#### - Les minéraux lourds :

Les analyses minéralogiques des minéraux lourds du sable peuvent servir à indiquer l'homogénéité et l'origine des sédiments. Par ailleurs elles ajoutent de nouvelles informations sur la composition minéralogique des profils étudiés, et par conséquent sur leurs relations avec leurs différents environnements.

Amiel et Ravikovich (1966) ont défini les limites entre les sols d'origine alluviale et ceux d'origine éolienne, en fonction de la proportion des minéraux lourds et des minéraux légers ("Figure Index"). La diminution de la valeur de cet indice dans la partie superficielle d'un matériau peut donner à penser qu'il s'agit d'une contamination en surface par des dépôts éoliens.

La distribution dans une fraction déterminée des minéraux résistants à l'altération peut-être utilisée comme un indice d'uniformité de la roche mère, Barchad (1965). La proportion de zircon à grenat sert à mesurer cet indice.

L'étude de ces minéraux lourds apporte souvent des indications précises sur l'origine des sédiments.

Khadr (1961), Nabhan et al. (1969), Labib et Sys (1970) et Frihy (1975) ; dans leurs études sur les sols du delta, et après leurs descriptions de l'ensemble des minéraux lourds qui s'y trouvent ont conclu que cet ensemble est en corrélation avec les minéraux qui dominent dans les roches du plateau éthiopien. Ils ont noté que les constituants minéralogiques des dépôts marins, lacustres, des sables du-

naïres, et des plages, sont liés aux phases juvéniles de la rivière, car ils sont riches en pyroxènes et amphiboles.

Khadr (1961), dans le delta, indique que l'association augite-hornblende et épidote dans tous les échantillons représente 75-95% des minéraux lourds. Staurotide, hainite, sillimanite et des minéraux résistants comme toutmaline, zircon et rutile existent en petites quantités.

L'origine des minéraux lourds des dépôts deltaïques a été étudiée par Shukri (1950). Il a conclu que la présence de la staurotide (d'origine métamorphique) peut-être attribuée à la faible influence du Nil Blanc dans la charge du Nil principal.

Buurisink (1971) a déterminé la composition des sédiments du Nil Bleu à Damarzin, comme dans le Nil principal à Shendi, il a trouvé qu'ils sont similaires. L'influence du Nil Blanc est négligeable. Le sable du Nil Bleu est caractérisé par l'association hornblende-augite-épidote qui fait 71-75% des minéraux lourds. Il a trouvé quelques minéraux d'origine métamorphique comme staurotide et sillimanite, et des minéraux stables comme zircon, grenat, rutile et titanite en petites quantités. L'augite est présente à 20%, spécialement celle de variété titani-ferreuse. L'existence de 15% de fragments basaltiques et de labradorites indique la provenance volcanique de ces minéraux.

#### - Les analyses des sables des sols étudiés.

Trois fractions ont été séparées parmi les sables de neuf des profils étudiés, soit 20 échantillons (tableau n° 4). Ces trois fractions sont de 50 à 160  $\mu$ , de 160 à 310  $\mu$  et de 310 à 500  $\mu$ . En général les pourcentages des minéraux lourds dans la fraction totale de (50 à 500  $\mu$ ) varient entre 11,7% et 0,2%. Ils sont au maximum ; de 11,7% dans le profil Ks (0,30cm), et 7,88% dans le profil S (130-170). Ces pourcentages deviennent moyens dans les profils : B4 (0-30cm), B3, (60-100 cm) et Ks (90-130cm) ; de 5,50, 3,32 et 3,13% respectivement. Ils sont au maximum, entre 1,54 et 0,2%, dans le reste des échantillons.

Le rapport des minéraux lourds aux minéraux légers ("Figure Index)" -F.I.- dans les trois fractions indique que dans les minéraux lourds sont concentrés généralement dans la fraction la plus fine (de 50 à 160  $\mu$ ) car dans cette fraction ce rapport F.I. varie entre 0,14 et 0,002, sauf dans le profil Sh. Tandis que dans la fraction

moyenne (de 160 à 310  $\mu$ ), il varie entre 310 à 500  $\mu$ ) il n'y a pratiquement pas de minéraux lourds dans tous les échantillons, sauf dans le profil S de 0-20cm (F.I. = 0,033) et le profil B de 0-20cm (F.I. = 0,02).

L'assemblage de minéraux lourds des deux fractions : de 50 à 160  $\mu$  et de 160 à 310  $\mu$  est présenté dans le tableau n° 4 et les figures (43). Dans la première fraction, l'association : augite-hornblende-épidote, représente presque la majorité et souvent davantage. Elle varie entre 88% et 45%. Ensuite les minéraux opaques qui varient entre 52% et 11%. Enfin viennent les autres minéraux comme : zircon qui atteint le maximum à 3%, grenat à 1%, disthène à 3%, staurotide à 2%, apatite à 2%, monazite à 1%, tourmaline à 1%, rutile à 1%, sphène à 1% et hyperssthène à 1%.

Dans l'assemblage des trois minéraux le plus important, l'augite est dominante ; elle varie entre 66% et 39% des minéraux transparents. Ensuite l'hornblende qui varie entre 17% et 35%, et enfin l'épidote entre 11 et 35%.

La distribution des minéraux lourds dans la deuxième fraction (de 160 à 310  $\mu$ ) est complètement différente de celle de la première fraction. Dans celle-ci les minéraux opaques se présentent généralement en majorité dans les profils B<sub>1</sub> (0-20cm et 160-200cm), B<sub>3</sub> (100-140cm), Ks (0-30cm), H (130-170cm), et G<sub>1</sub> (0-30cm). Par contre dans les profils S (0-20cm et 130-170cm), B<sub>3</sub> (100-140cm), G<sub>1</sub> (8°-170cm) et B<sub>4</sub> (0-30cm) ; l'association des minéraux transparents est dominante.

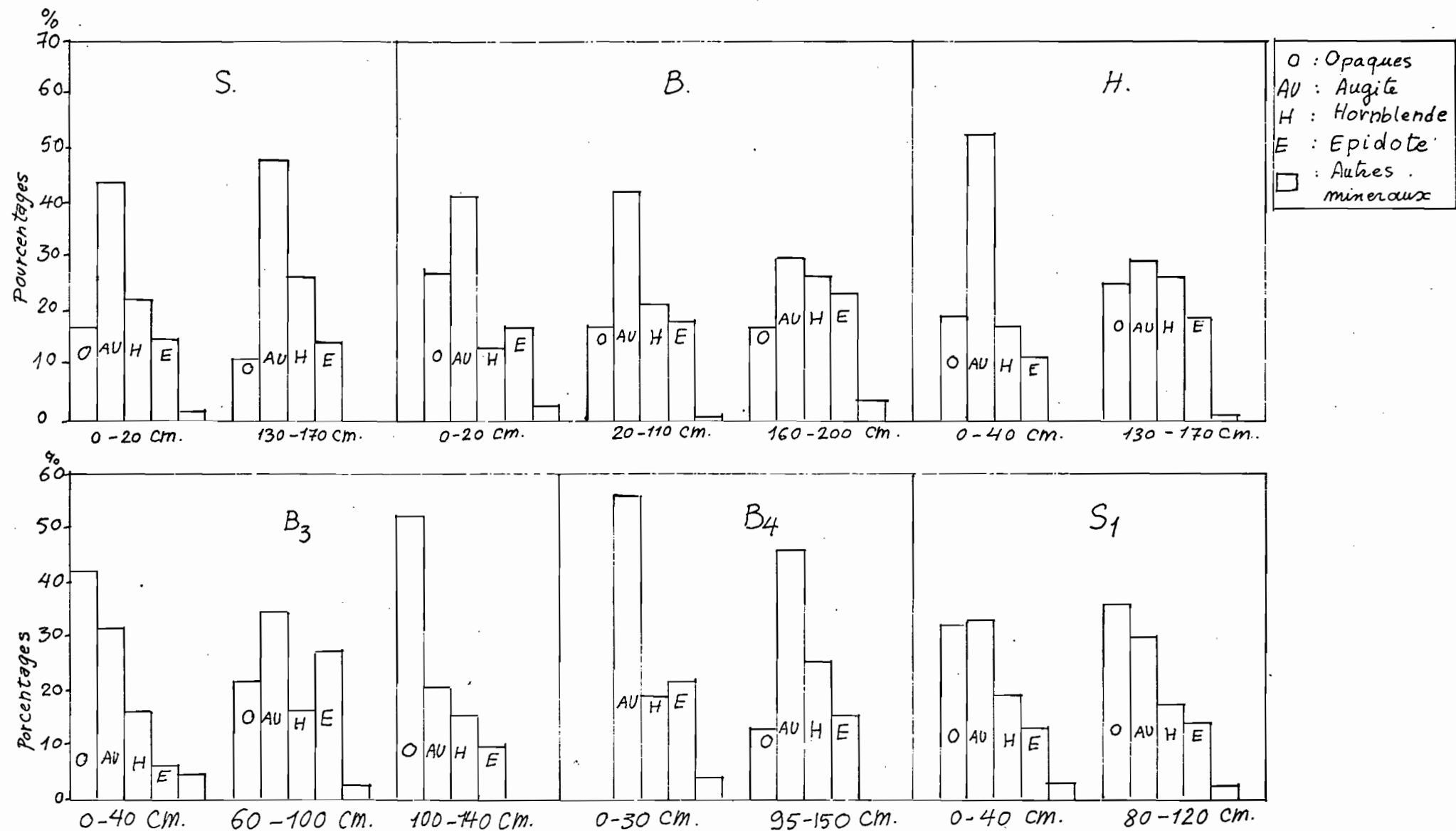
La figure n° 44 montre l'analyse aux rayons X de 3 échantillons de minéraux lourds de la fraction de 50 à 160  $\mu$ . D'après ce diagramme on peut affirmer que les résultats des analyses numériques optiques des minéraux lourds sont corrects et significatifs. Quelques grains de quartz et de feldspaths ont cependant passé avec la fraction lourde pendant sa séparation ; cela est à peu près inévitable

#### 11.5.B.- La composition minéralogique du limon (2 - 50 $\mu$ ).

Buurizink (1971) a étudié la fraction limon (2-5  $\mu$ ) du Nil Bleu. Il a trouvé qu'elle contient 20% de quartz et 15% de feldspaths qui augmentent dans la fraction grossière. La calcite est présente à 5% et l'on trouve aussi environ 10% de verres volcaniques. Il y a 2-4% de zéolites



Fig.43: Minéraux lourds en pourcentages numériques du sable fin (50-160 $\mu$ ) et du sable moyen\* (160-315 $\mu$ ).



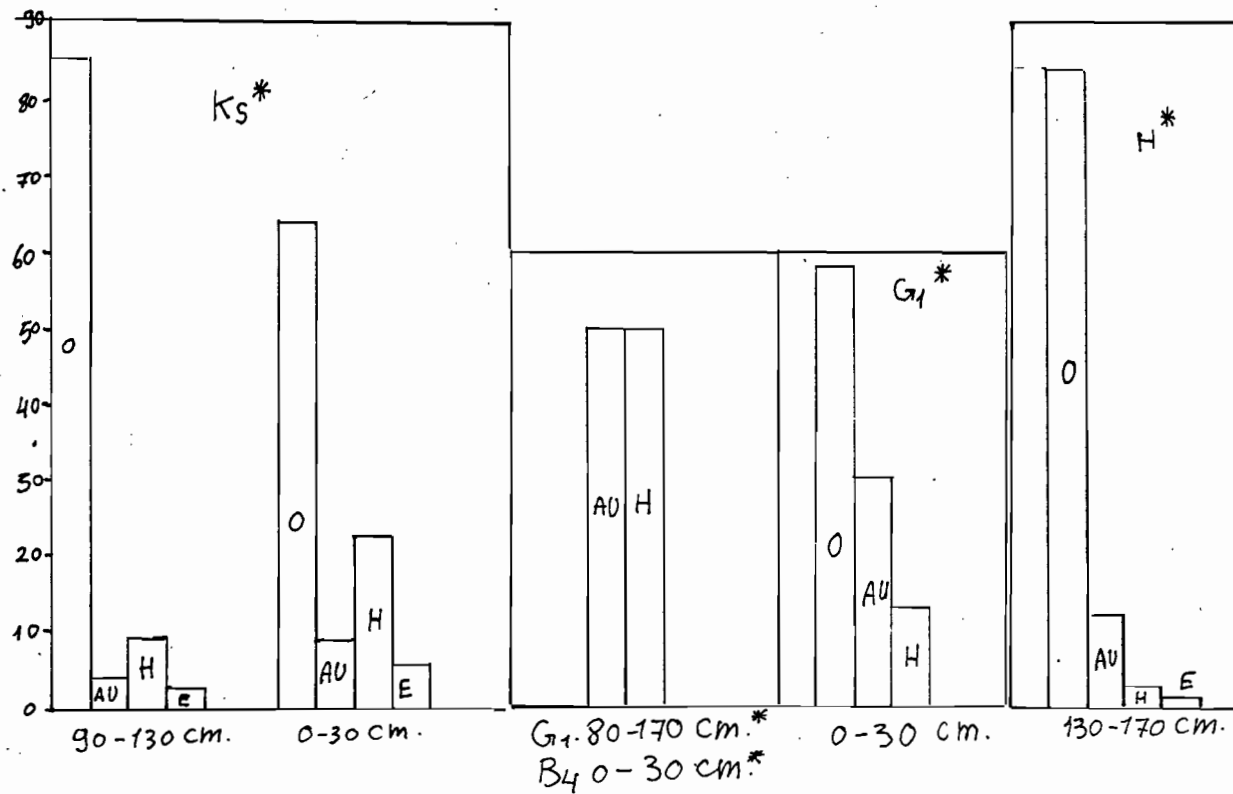
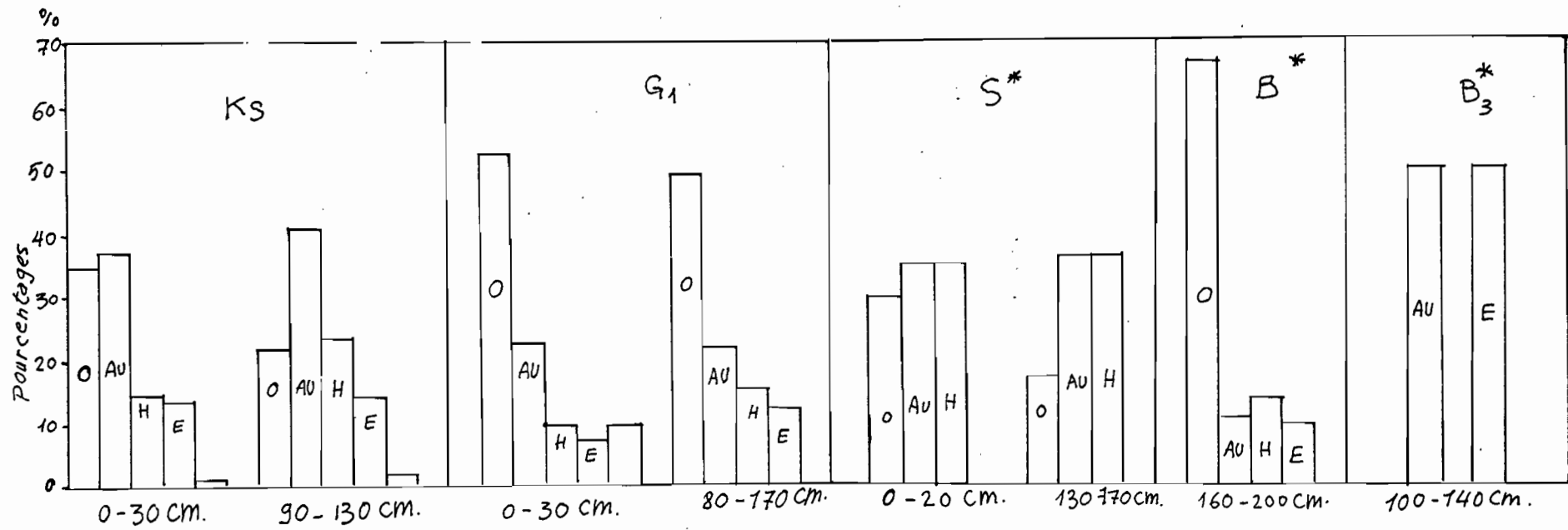
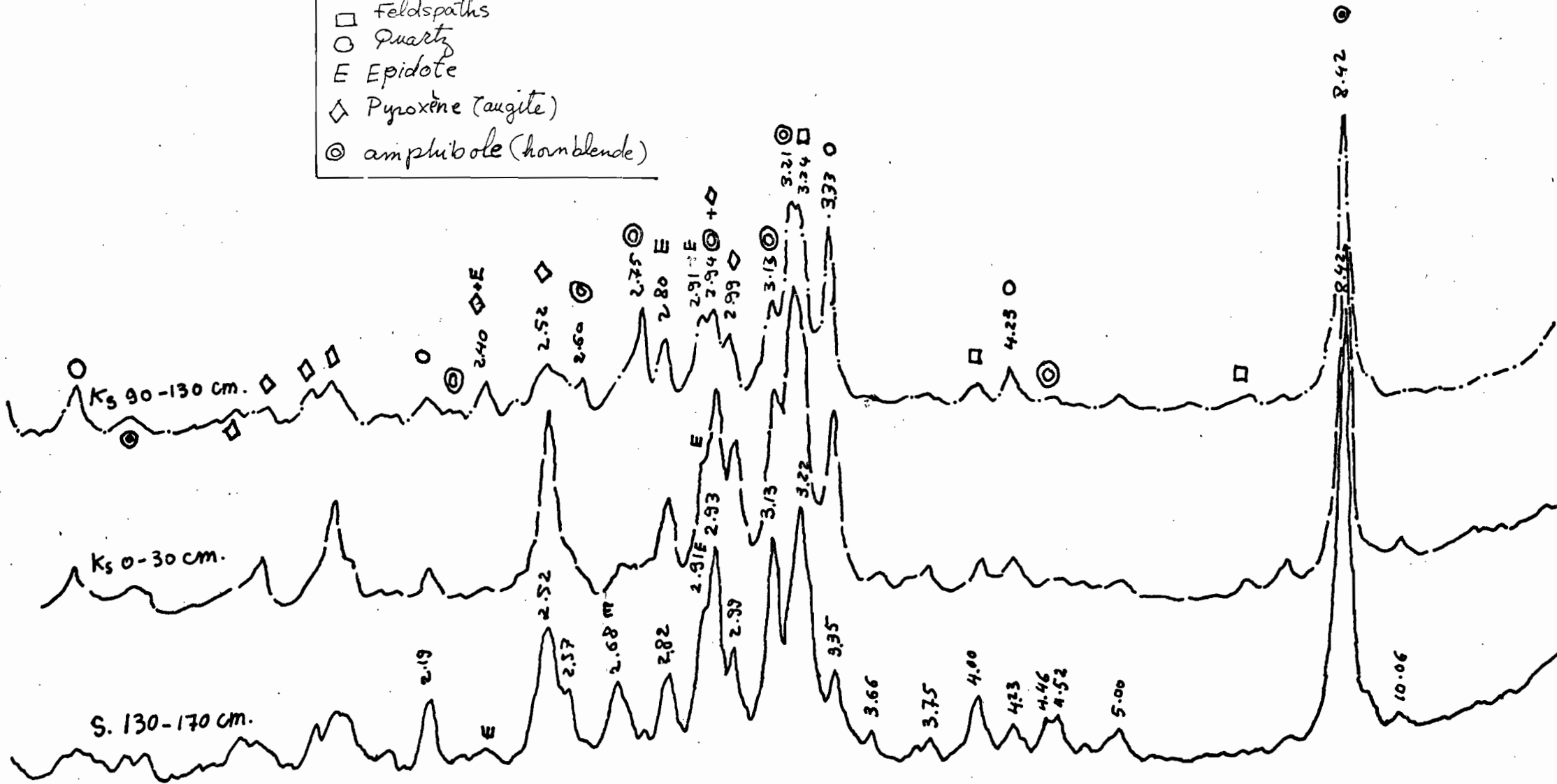


Fig. 44. Les diagrammes des rayons-x des

Minéraux lourds, des sables fins, (50-160 $\mu$ )

- Feldspaths
- Quartz
- E Epidote
- ◇ Pyroxène (augite)
- ⊙ amphibole (hornblende)



et quelques minéraux non cristallisés. Dans cette fraction les minéraux argileux commencent à apparaître, la montmorillonite y domine (50%), ensuite la vermiculite. La dernière augmente dans la fraction grossière du limon. La montmorillonite qui est un type dioctaédrique, riche en fer, augmente dans la fraction plus fine du limon. La kaolinite existe et augmente dans la fraction plus fine. Le mica existe aussi mais augmente dans la fraction grossière.

Buurizink a prouvé que la composition minéralogique du limon du Nil Bleu et du Nil principal sont semblables. Les minéraux dans la fraction de 50-37  $\mu$  ont été étudiés optiquement ; il y a été décelé la présence du verre volcanique pour une proportion de 10% ; elle augmente avec la diminution des particules dans la fraction sable fin, et elle est au maximum dans la fraction limon.

Buurizink a étudié les diagrammes de rayon X sur 3 fractions du limon (2-5, 5-20 et 20-50  $\mu$ ). Il a conclu que l'association quartz-feldspath-mica diminue régulièrement avec la diminution de taille des particules. L'estimation a été faite par comparaison entre l'intensité de diffraction des pics dans les trois fractions. Il a trouvé que le quartz dans ces trois fractions correspond à 35, 20-15 et 10% respectivement. Ces valeurs sont intermédiaires entre celle de la fraction sableuse (60%) et celle de la fraction argileuse (3%). D'après les rayons X (Pic 14  $\text{A}^\circ$ ) du limon fin et de l'argile, Buurizink a trouvé une relation négative entre la teneur en montmorillonite, et positive dans le cas de la vermiculite, et la taille des particules. Il a été ainsi observé que la teneur en kaolinite et en produits amorphes diminue graduellement de la fraction argile à la fraction limon fin.

#### **- Les analyses minéralogiques des limons dans les sols étudiés.**

Les analyses chimiques totales (tableaux n° 5), les analyses thermiques différentielles (Fig. 46) et les analyses aux rayons X (Fig. 45) ont été réalisées sur 20 échantillons de limon grossier obtenus à partir des profils S, B, H, B<sub>3</sub>, Sh, B<sub>4</sub>, S<sub>1</sub>, G<sub>1</sub> et K.S.

Les analyses chimiques indiquent que le limon grossier des échantillons étudiés contient un fort pourcentage de silice qui varie entre 57,11 et 69,33%. Ensuite l'alumine qui varie entre 11,44 et 15,56%, puis le fer entre 4,16 et 11,21%. Le calcium est assez abondant et varie

entre 3,75 et 8,33%. Le magnésium est présent dans des proportions de 1,43 à 4,03% ; le sodium entre 1,74 et 2,98%, le titanium entre 0,15 et 3,38%, le potassium entre 1,25 et 1,82%, et enfin le manganèse n'existe qu'en faible quantité.

La figure n° 45 montre les diagrammes des rayons X du limon grossier (en poudre) de sept échantillons. Ils indiquent une forte intensité des pics du quartz ; 4,26 Å , 3,3 Å , 2,46 Å , 2,28 Å et 2,23 Å ; ainsi que des pics caractéristiques des feldspaths , 6,42 Å , 4,04 Å , 3,75 Å , 3,65 Å , 3,49 Å , 3,21 Å , 2,90 Å , 2,85 Å , et 2,52 Å.

Les diagrammes montrent l'existence des minéraux lourds en quantités non négligeables. Les pics : 8,42 Å , 4,49 Å et 2,71 Å , indiquent la présence de l'amphibole, et à 4,69 et 2,52 Å celle du pyroxène. Ceux de 3,89 Å et 3,00 Å correspondent à de la calcite.

Les pics entre 7,0 Å et 17 Å prouvent la présence des minéraux argileux. La figure n° 45a présente les analyses aux rayons X des échantillons orientés, glycérolés et chauffés. Ces traitements révèlent la présence des minéraux gonflants comme la montmorillonite et la vermiculite. Ils sont caractérisés par les pics à 14,2 Å et 17 Å dans les échantillons orientés et non traités et par la diminution du pic 14 Å et l'augmentation du pic 10 Å dans les échantillons chauffés. Les micas se trouvent également en proportions assez importantes, comme l'indique l'apparition des pics de 9 à 10 Å dans tous les traitements.

Les pics faibles à 14 Å et à 7,2 Å du diagramme d'échantillon chauffé à 500° C, indiquent la présence de la chlorite en faible quantité.

Les analyses thermiques différentielles du limon grossier (Fig. 64) indiquent en général une forte réaction endothermique à 120° C dans tous les échantillons, ce qui correspond à la présence des minéraux argileux gonflants comme la montmorillonite et la vermiculite. La relativement forte réaction endothermique à 220° C indique l'existence de la vermiculite, surtout dans les échantillons : B<sub>4</sub> (0-30cm), S (0-20cm), B (20 - 100cm), B (160-200cm), S<sub>1</sub> (80-120cm), G<sub>1</sub> (0-30cm), H (0-40cm) et H (130-170cm).

Le pic à 540-550° C qui se présente avec plus ou moins d'importance, correspond à la première perte du groupe (OH<sup>-</sup>) des feuillets des

TABLEAU 5 - Résultats d'analyse chimique totale du limon grossier (20-50  $\mu$ ) rapportés aux échantillons calcinés à 1000°C

Echantillons	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> li- bre %	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> %	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> %
S 0-20	66,28	13,15	7,44	2,66	5,71	2,68	1,32	2,39	0,12	0,20	1,33	0,74	1,57
S 130-170	58,02	15,53	10,25	3,14	5,35	2,72	1,82	2,83	0,16	0,18	2,98	6,46	0,00
B 0-20	60,90	13,84	9,12	3,22	6,29	2,54	1,29	2,40	0,17	0,23	-	1,14	2,66
B 20-110	63,48	13,83	8,29	2,86	5,69	2,72	1,29	2,34	0,16	0,34	2,07	0,94	2,76
B 160-200	63,50	13,13	7,23	1,85	6,27	2,68	1,39	2,40	1,42	0,13	1,54	0,79	1,81
H 0-40	60,36	13,63	9,40	4,03	6,53	2,39	1,53	2,44	0,18	0,18	-	1,03	4,10
H 60-100	63,72	14,42	7,81	2,09	5,16	2,69	1,35	2,08	0,34	0,23	-	0,98	2,55
B3 0-40	58,35	14,09	9,12	3,68	5,28	2,29	1,41	1,98	4,08	0,22	2,85	0,99	4,68
B3 60-100	59,06	13,56	9,53	3,26	8,33	2,37	1,29	2,71	0,16	0,22	2,22	1,21	4,59
B3 100-140	63,16	15,56	8,32	2,42	4,23	2,35	1,43	2,18	0,11	0,24	2,50	0,94	3,24
Sh 0-40	66,60	13,95	7,56	2,27	3,75	1,74	1,57	1,34	0,15	0,70	-	1,12	4,50
Sh 40-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B4 0-30	64,06	12,60	7,10	3,97	6,54	2,30	1,25	2,32	0,14	0,29	-	0,49	2,49
B4 95-150	63,84	13,76	7,70	2,55	5,66	2,61	1,28	2,70	0,15	0,18	1,32	1,22	0,18
S1 0-40	66,83	12,19	5,50	2,20	6,77	2,37	1,32	2,07	0,15	0,15	-	0,89	2,06
S1 80-120	66,55	12,32	5,96	2,15	6,71	2,39	1,31	2,24	0,20	0,17	1,14	1,26	2,04
G1 0-30	64,88	11,89	5,79	2,28	7,83	2,98	1,47	2,09	0,19	0,24	-	1,57	3,67
G1 80-170	69,33	11,44	4,16	1,43	7,69	2,29	1,52	2,11	0,16	0,26	-	0,94	2,42
Ks 0-30	57,11	13,78	11,21	3,26	6,24	2,49	1,27	3,38	1,87	0,15	2,67	1,03	1,50
Ks 90-130	61,53	13,51	7,95	2,96	6,77	2,50	1,43	0,15	1,43	0,66	1,54	0,66	1,75



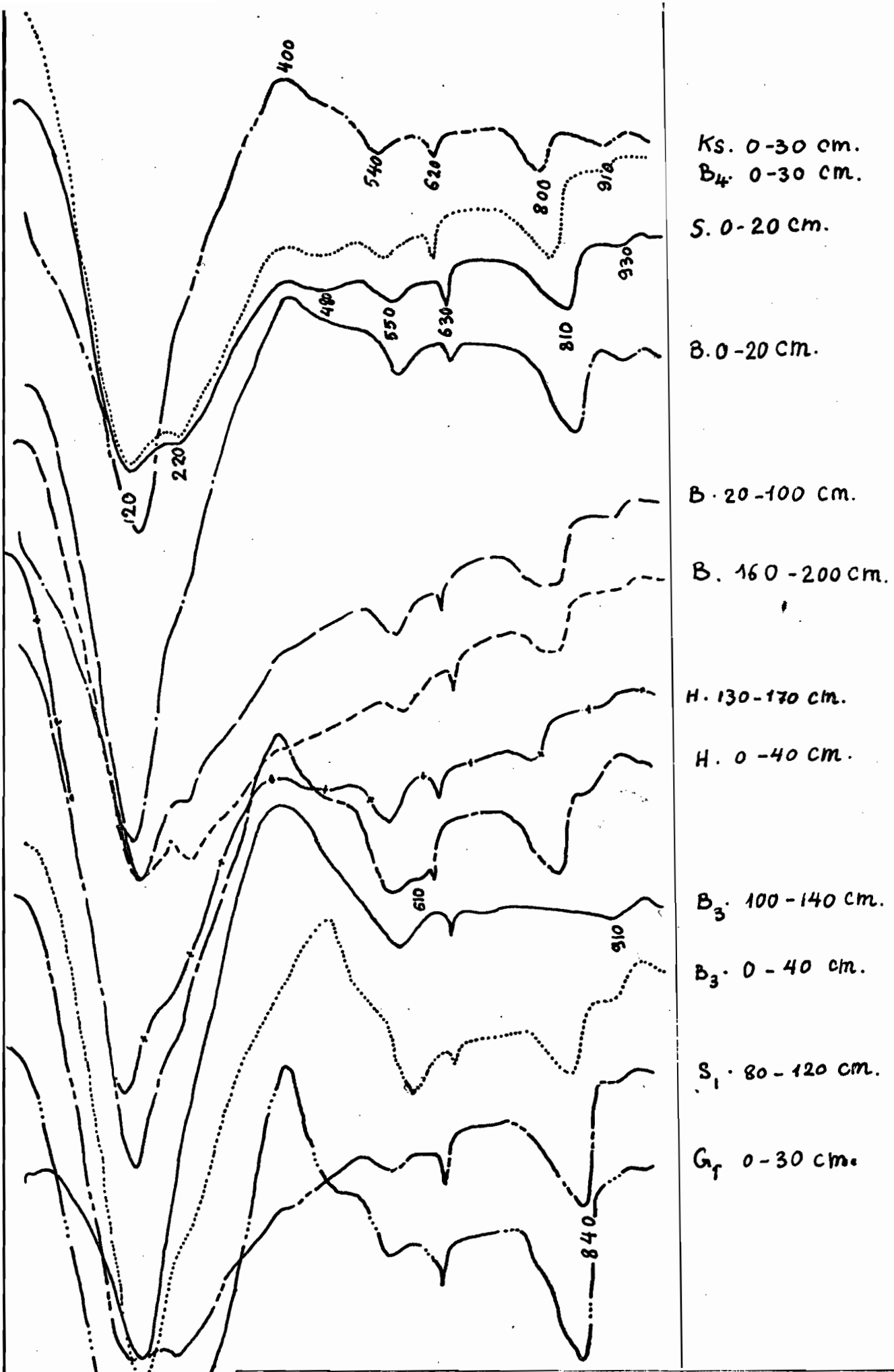


Fig. 46 : Les courbes des analyses T.D. de limon grossier, (20-50μ).

minéraux argileux. Le pic aigu et symétrique à 620-630° C indique la présence du quartz. Les réactions endothermiques à 800° C et à 910 prouvent respectivement l'existence du mica et de la montmorillonite.

#### II. 5.C.- Etude des minéraux argileux des sols du delta.

L'argile des sols du delta formés sur les alluvions du Nil a été le sujet de plusieurs études. Une revue des recherches publiées montre que les résultats obtenus sont controversés. Aussi nous a-t-il paru nécessaire de procéder à un exposé rapide de ceux de la plupart des études portant sur les minéraux argileux des alluvions du Nil, soit dans la vallée, soit dans le delta.

Dans des études anciennes la kaolinite a été considérée comme le minéral dominant dans la fraction argileuse des alluvions et des matériaux en suspension du Nil (Ball, 1938).

Dans des études plus récentes, utilisant diverses techniques comme les rayons X, l'analyse thermique différentielle et le microscope électronique, Hamdi, avec divers co-auteurs (1953, 1955, 1959 et 1961), Naga (1945 et 1952) et Epprecht (1953, 1955) a conclu que l'illite est le minéral majeur dans l'argile des alluvions en Egypte.

Par des études plus précises, la présence de l'illite altérée, ainsi que la formation des nouveaux produits comme la boehmite et des minéraux de type montmorillonitique dans les dépôts du Nil ont été indiqués ultérieurement par Hamdi, lui-même (1959).

Plus tard les résultats des analyses effectuées sur la fraction  $< 1\mu$  de l'argile des alluvions du Nil à l'Est de la branche Damietta, ont indiqué que l'illite, avec possibilité de petites quantités de montmorillonite, est le constituant majeur (Hashad, Mady et Khadr 1961) ; ces résultats sont semblables à ceux obtenus sur une série d'échantillons prélevés dans le delta.

Réétudiant la même fraction ( $< 1\mu$ ) dans des échantillons prélevés dans le delta Khadr (1961), n'utilisant que les méthodes physiques de détermination a conclu à la présence de 60 à 75% d'illite, 10 à 15% de montmorillonite, 10 à 15% de kaolinite et environ 3% de quartz.

Buursink (1971) a remarqué une contradiction entre les conclusions de Khadr et ses propres résultats ; d'après lui, en effet, la montmoril-

lonite est le minéral dominant, avec un peu de kaolinite et parfois un peu d'illite.

En utilisant des méthodes plus complètes, El-Gaboly et Khadr (1962) ont montré, que la montmorillonite domine dans la fraction inférieure à  $1\mu$ , avec une proportion de 70 à 75%, suivie par la kaolinite et une faible quantité de mica hydraté.

Roufail (1963) a noté par contre que le minéral dominant dans l'argile des alluvions de deux provinces de la vallée du Nil, est la kaolinite avec de la smectite et de l'illite en quantités plus faibles.

D'après Hamdi (1967), la plus grande partie de l'argile observée dans le delta, se trouve dans la fraction inférieure à  $1\mu$  où la montmorillonite est dominante. Une certaine quantité de kaolinite et de minéraux illitiques sont présents également.

Heakel (1968), dans ses études sur la fraction  $< 1,4 \mu$  des alluvions du Nil a utilisé la technique de la dissolution chimique. Il a pu ainsi montrer qu'un échange de gels organiques et minéraux ( $SiO_4$ ,  $Al_2O_3$ , et  $Fe_2O_3$ ) s'y trouve associé, en quantités considérables. Plus particulièrement dans celles de la vallée leur proportion est encore plus forte dans les horizons de surface ; par contre, elle est plus faible dans les sols alcalins situés à l'est du delta. En général la composition minéralogique de ces matériaux varie très peu avec la profondeur. Il a trouvé également que le minéral dominant dans la vallée est la montmorillonite dioctaédrique, riche en fer, résultat différent de celui obtenu par Roufail. Cette montmorillonite est associée à 5-10% de calcite. La présence d'illite est douteuse dans tous les profils étudiés, sauf dans celui de Shalma (au Nord du delta), qui en contient de 10 à 15%.

Plus récemment, Abd El-Aal (1969) a étudié les minéraux argileux et les minéraux associés dans deux fractions de trois profils répartis dans la vallée et dans le delta.

Il a résumé sa conclusion dans le tableau suivant :

L'augmentation prononcée de la montmorillonite avec la profondeur dans le cas de Tal-Kebeer, est expliquée par Abd-El-Aar comme due à la migration de l'argile sodique de l'horizon A vers l'horizon au-dessous, mais avec altération possible du mica hydraté en montmorillonite dans les conditions alcalines (le pH du sol dans cette région dépasse 9,5).

Fraction	El-Wasta (dans la vallée)	Tal Kebeer (l'est du delta)	Faraskour (le nord de la branche Domietta)
(2 - 1 $\mu$ )	Kaol. > mont. > illite. + quartz + mica + faible quantité de Ca <sup>+2</sup> feldspaths	Mica et mica hydraté > mont. = Kaol. + traces de quartz et de feldspaths	Kaol. > mont. > illite feldspaths dans toutes les couches).
(> 1 $\mu$ )	Mont. > Kaol. > illite + mica et feldspaths en faibles quantités	Note : la mont. augmente et les micas diminuent en profondeur.	Mont. > Kaol. > illite feldspaths (dans toutes les couches)

Kisk, El-Attar, Hassan et El-Sheemy (1976) ont publié un travail sur les analyses minéralogiques des fractions argileuses dans des sols alluviaux typiques du delta, utilisant des méthodes encore plus modernes. Ils ont indiqué que la composition minéralogique est comme suit: montmorillonite (dont la smectite riche en fer est dominante) de 48-56%, kaolinite de 15-18%, mica de 5-11%, feldspaths de 5%, quartz de 3-5% et oxydes libres de 11-16%, ainsi que la présence de quelques interstratifiés des minéraux du type 2:1 n'est pas exclue. Cette composition n'est pas changée d'une façon significative avec la profondeur ni la localisation. Elle est très semblable à celle des matériaux charriés par le Nil.

#### Détermination des matériaux argileux des sols étudiés.

Pour étudier qualitativement et quantitativement la constitution minéralogique de la fraction < 2 $\mu$ , nous avons utilisé le microscope électronique, les rayons X, les analyses thermiques différentielles et pondérales, les analyses chimiques totales (par fusion) la détermination de la capacité d'échange et celle du potassium susceptible d'être fixé sous forme échangeable. Il ne nous a pas été possible de réaliser tout l'ensemble de ces déterminations sur tous les échantillons prélevés; beaucoup d'entre eux apparaissent d'ailleurs assez identiques. Nous avons par ces différentes méthodes étudié un certain nombre d'échantillons, jusqu'à 20 qui paraissent avoir des caractères assez particuliers de solinite et d'alcalinite.

### Etude par diffraction de rayons-X

Les figures 47 et 48 montrent les courbes de diffraction des rayons-X à la fois sur la poudre et sur l'échantillon orienté, glycérolé, et chauffé d'argiles saturées en magnésium.

Les courbes indiquent la présence de montmorillonite, de kaolinite, d'illite et de minéraux interstratifiés mica-montmorillonite. La vermiculite, le quartz et des feldspaths sont présents, mais en minorité dans ce complexe. Les pics caractéristiques ne sont pas très nets à cause de la faible cristallinité de ces minéraux et de la forte proportion d'oxydes amorphes présents. Les minéraux sont indiqués par les pics caractéristiques suivants :

1 - **Montmorillonite** : pic à  $14 \text{ \AA}$  d'échantillon non traité et à  $17-18 \text{ \AA}$  d'échantillon glycérolé (Jackson 1969)

2 - **Kaolinite** : le pic à  $7,13-7,24 \text{ \AA}$  d'échantillon non traité qui disparaît après chauffage à  $500^\circ \text{ C}$ .

3 - **Illite** : sa présence est indiquée par le pic à  $10 \text{ \AA}$  dans tous les traitements. La bande large, souvent observée dans le cas d'argile saturée en potassium, peut indiquer la présence d'interstratifiés du type illite-montmorillonite. Cette bande présente la moyenne entre les pics à  $10 \text{ \AA}$  et à  $14 \text{ \AA}$  et leur deuxième ordre ( $6 \text{ \AA}$ ) Mitchell (1965). En fait, ce dernier n'apparaît que faiblement dans nos échantillons.

4 - **Vermiculite** : pic à  $15-14 \text{ \AA}$  de l'argile saturée en magnésium qui se maintient après traitement au glycérol. Dans l'échantillon saturé au potassium la vermiculite donne un pic à  $9,9-10,1 \text{ \AA}$ .

**Quartz et feldspaths décelés** par leurs pics caractéristiques, respectivement à  $3,35 \text{ \AA}$  et à  $3,1-3,25 \text{ \AA}$ .

### Les analyses thermiques différentielles.

Les graphiques obtenus lors des analyses thermiques différentielles (Fig. 50) montrent un pic endothermique intense entre  $100$  et  $250^\circ \text{ C}$ . correspondant à la perte de l'eau absorbée entre les feuillets, qui est particulièrement forte dans les argiles montmorillonitiques. Le deuxième pic endothermique se trouve entre  $450$  et  $600^\circ \text{ C}$ , avec un sommet à  $580$  ; il a une hauteur moyenne et présente une forme symétrique. Ce pic indique

Fig.47 : Analyses aux rayons-X, des échantillons (poudre) saturés au  $Mg^{+2}$ .

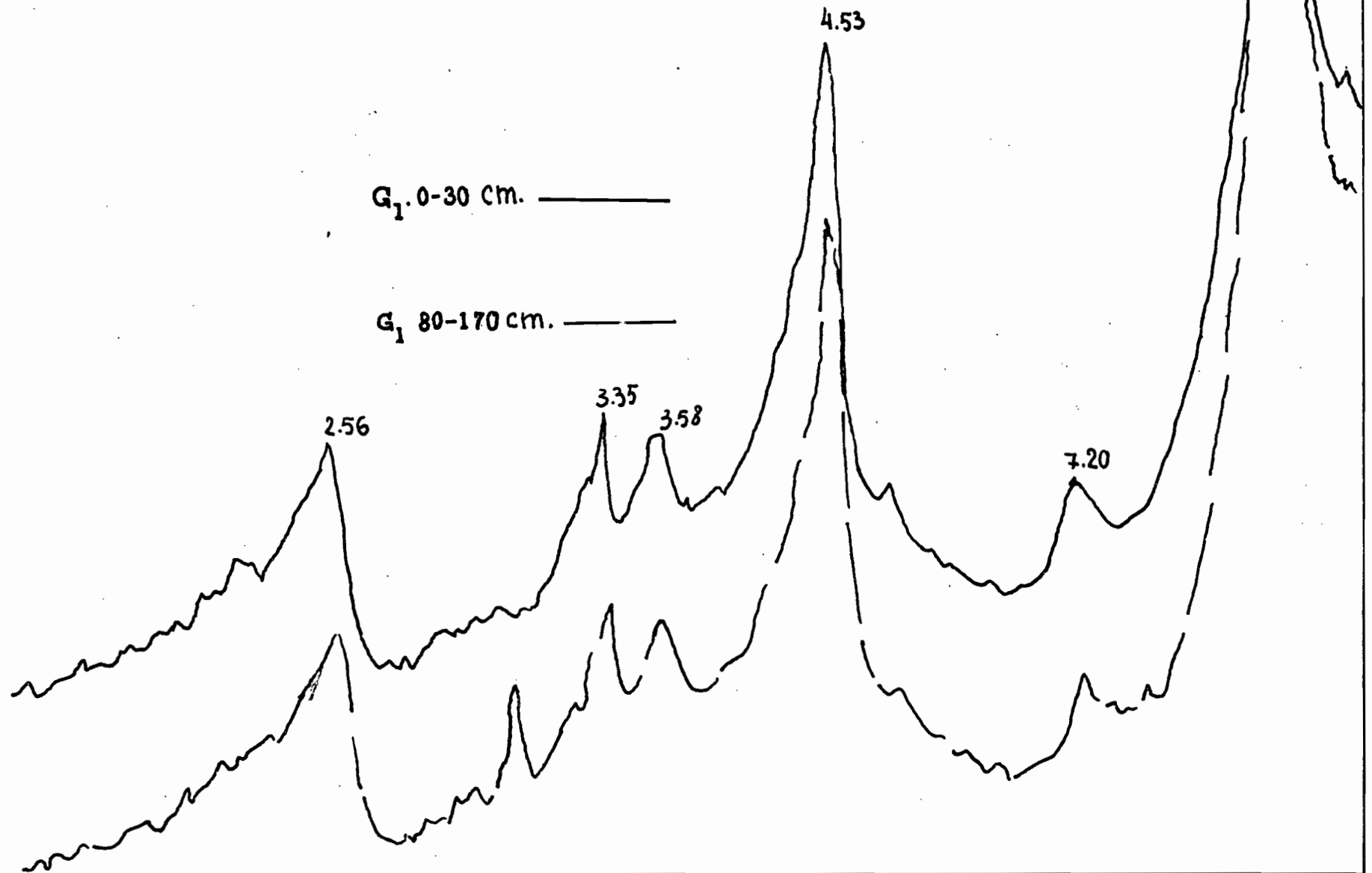


Fig.47a:

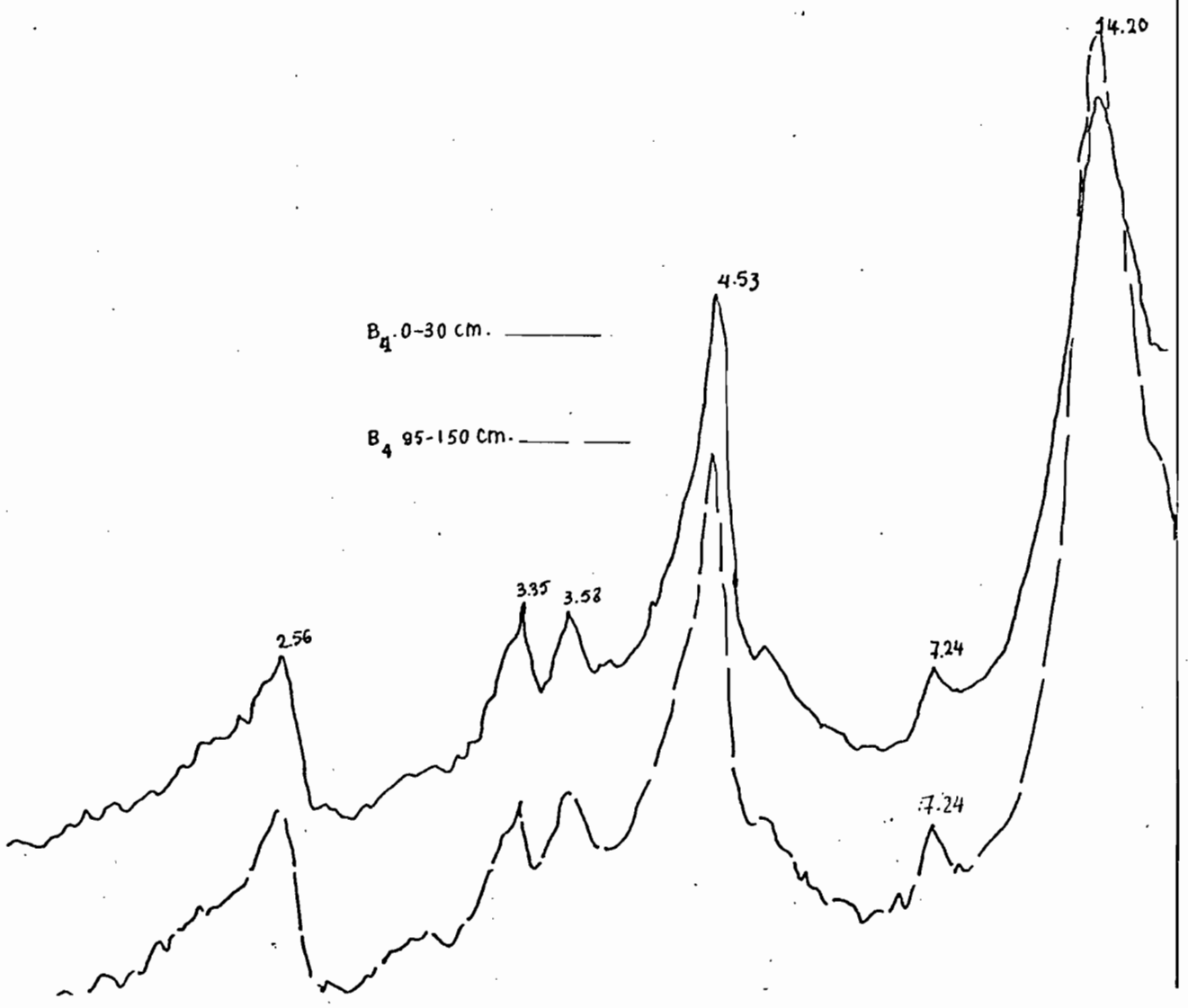
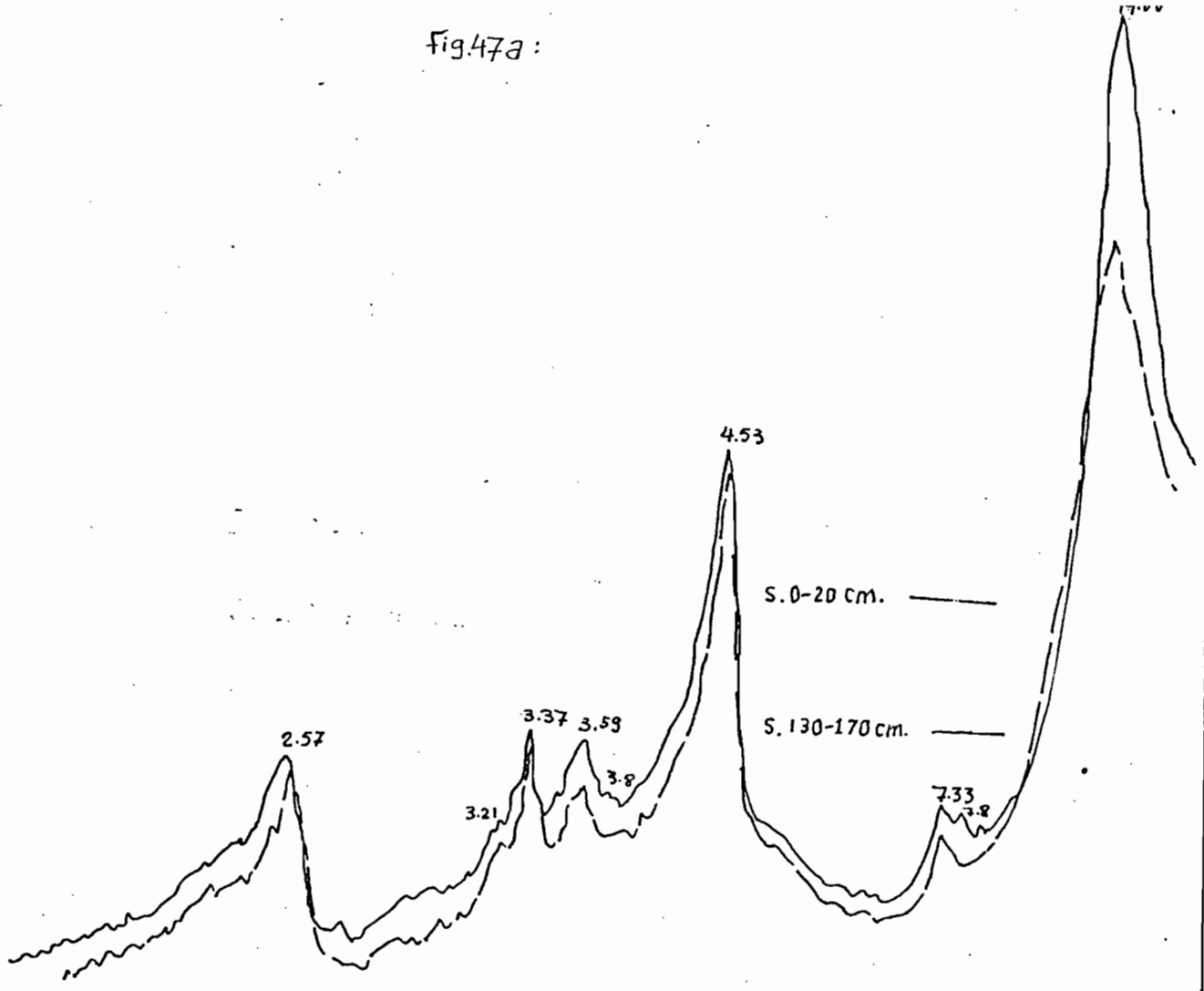


Fig. 47 b:

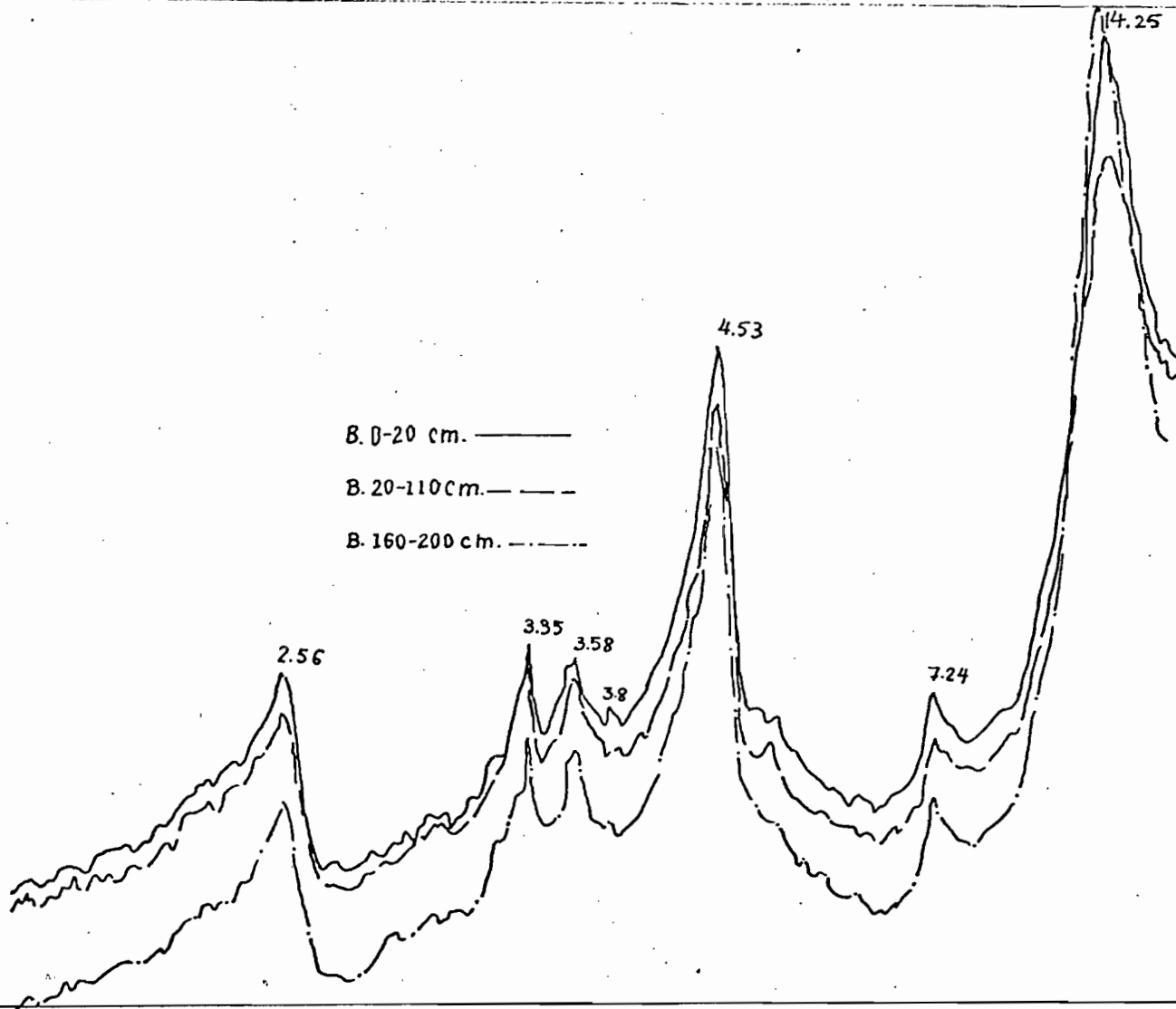
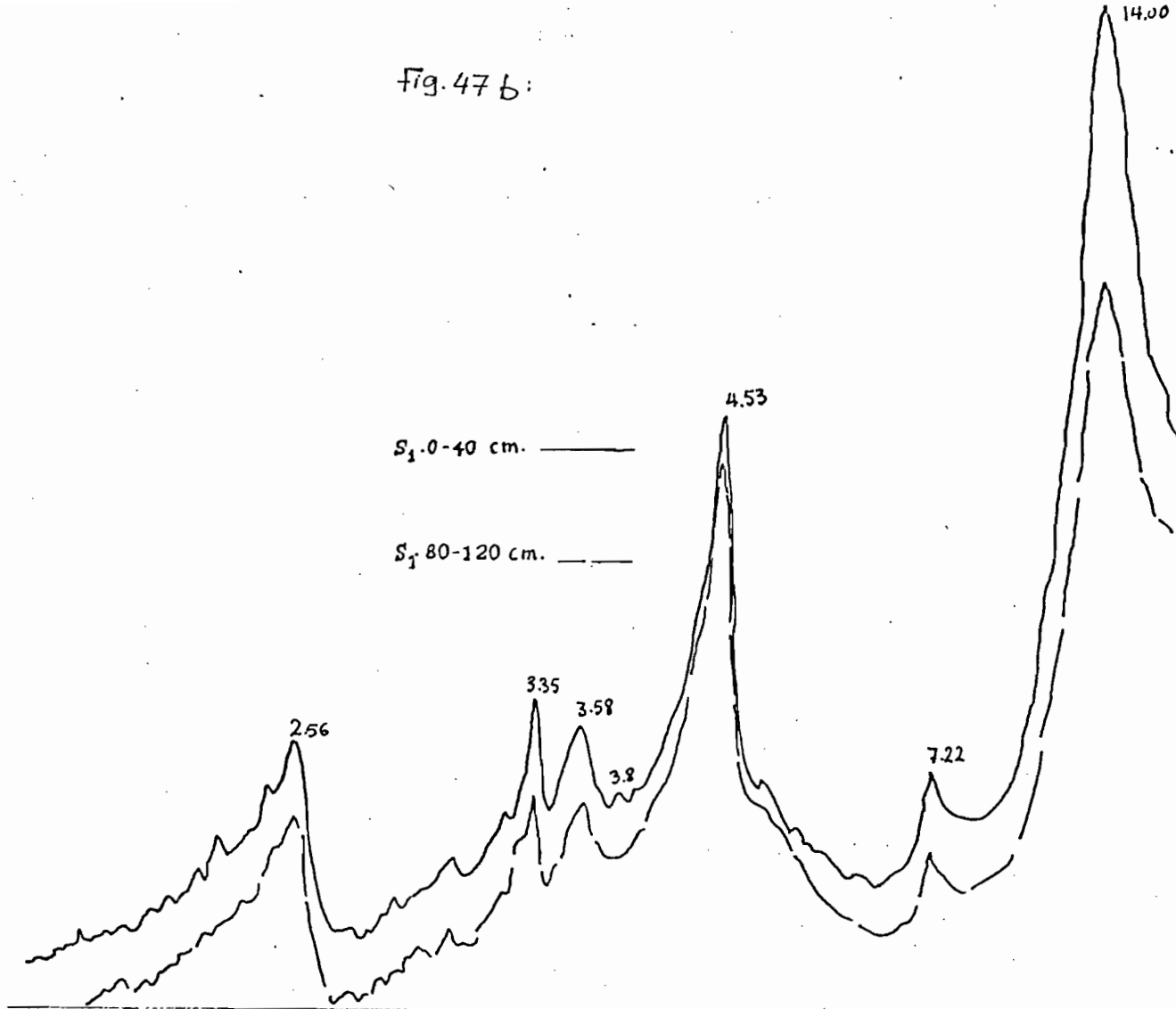


Fig. 47C:

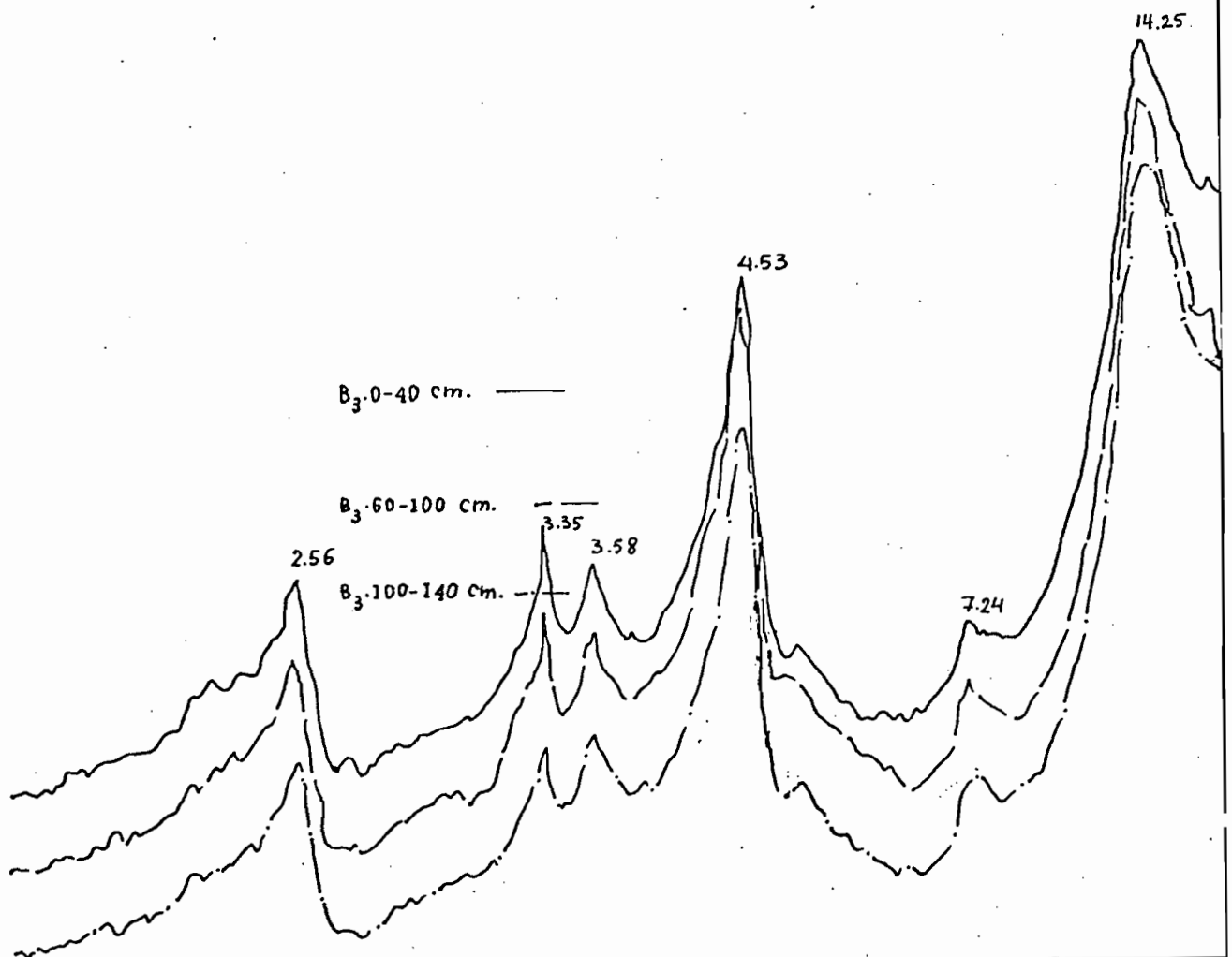
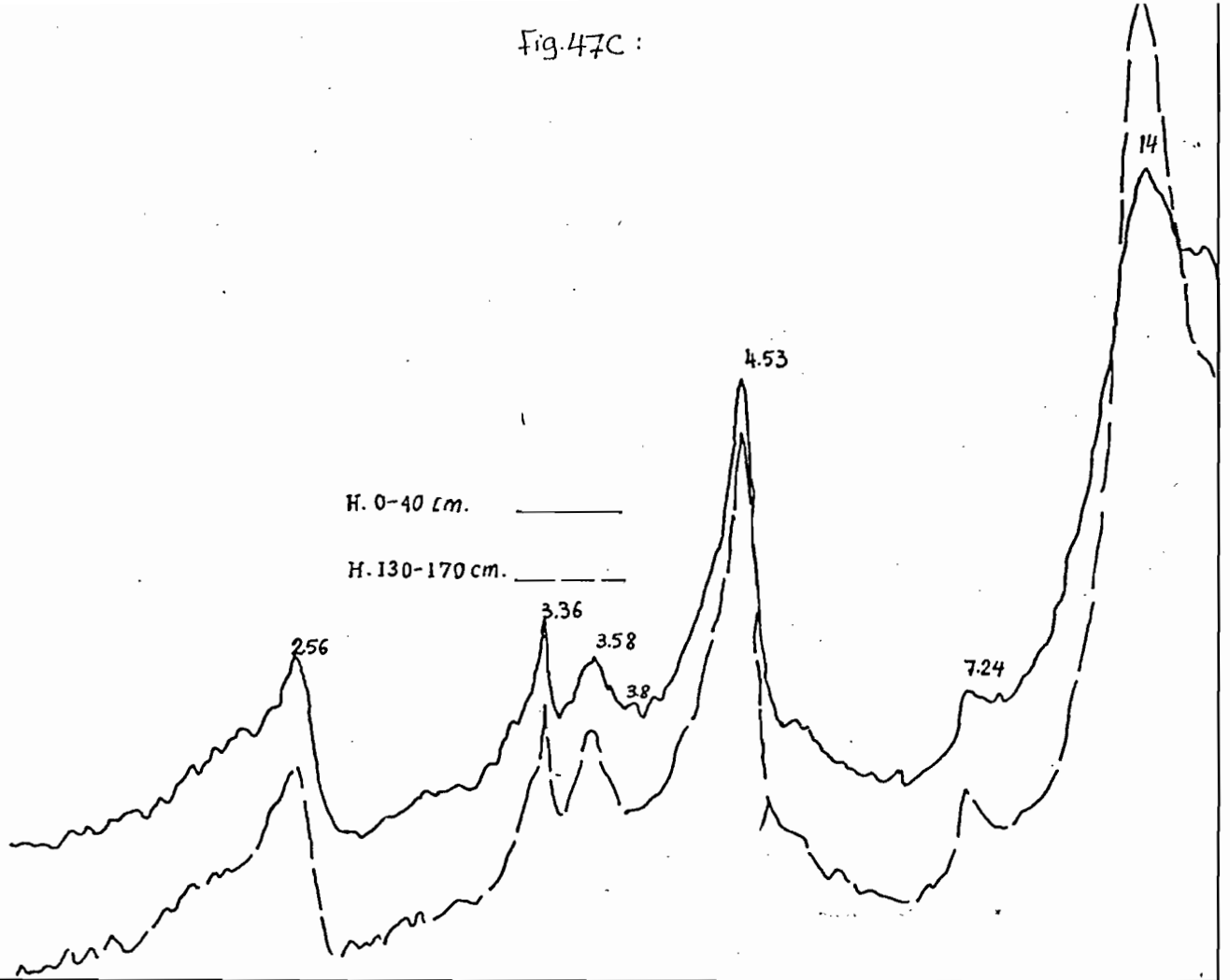


Fig. 47 d:

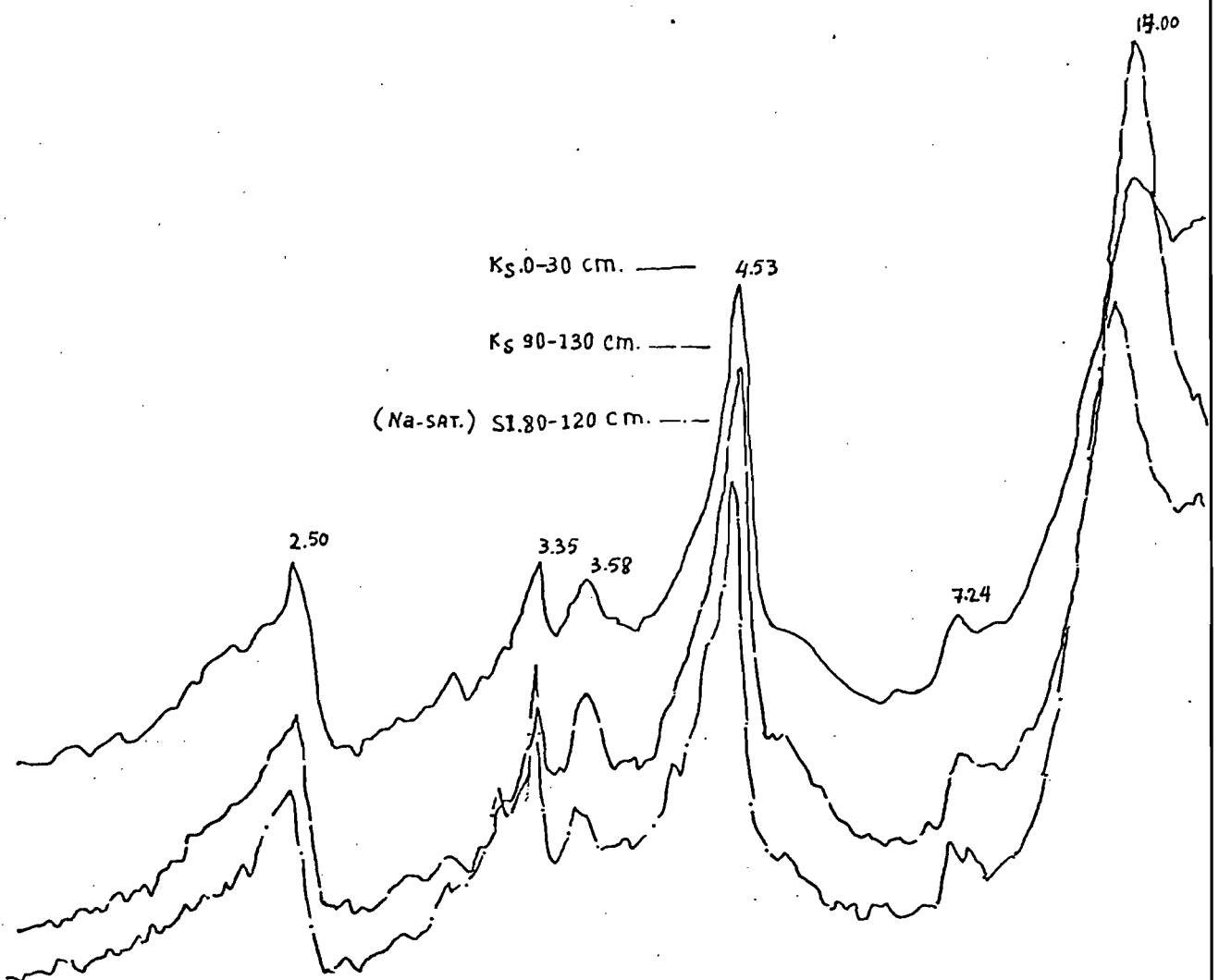
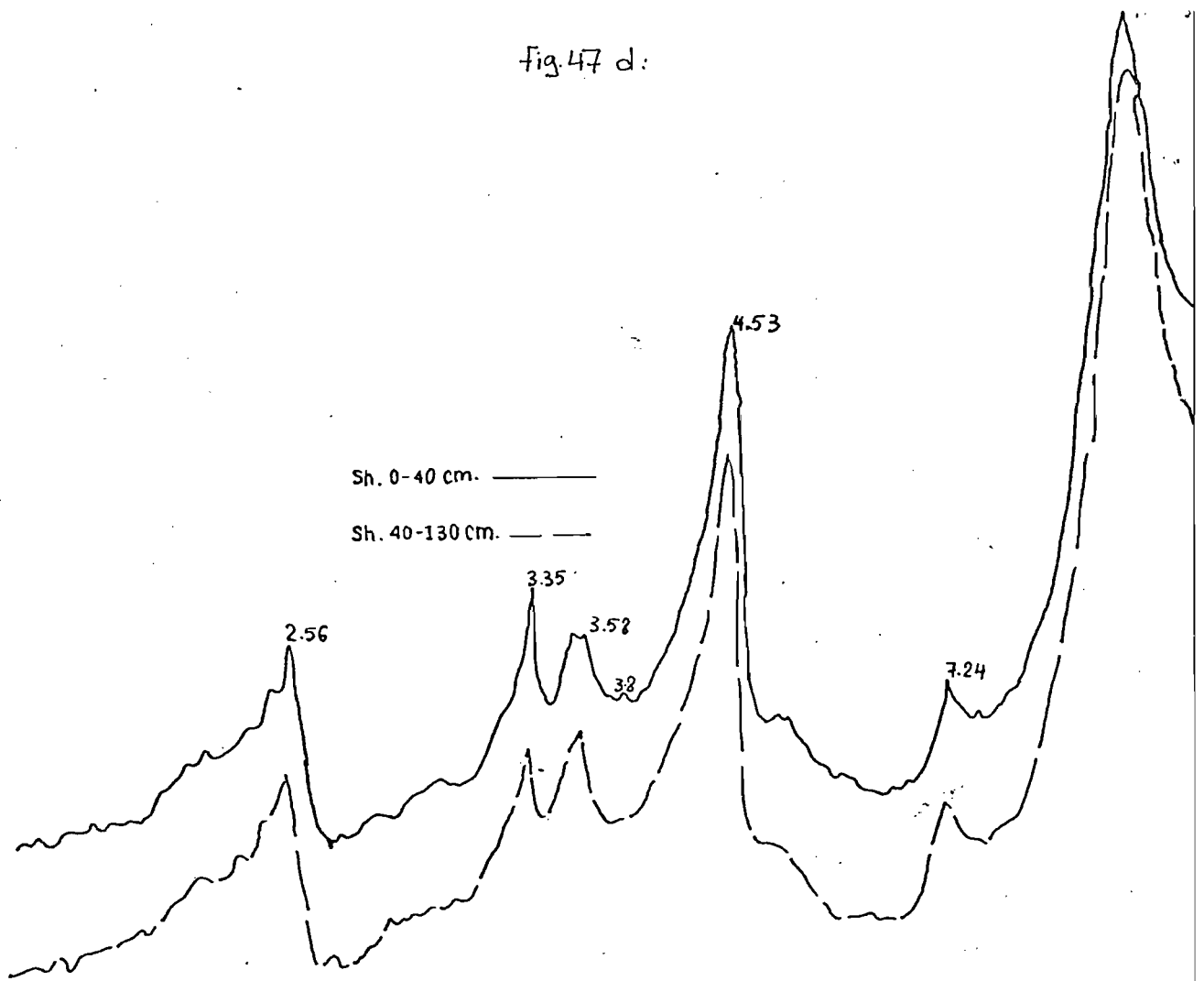
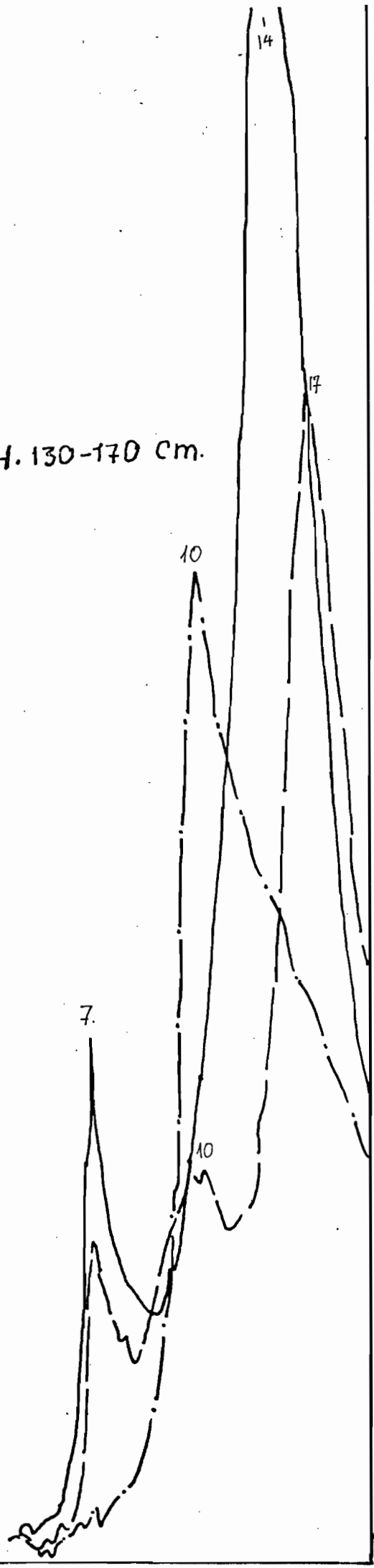


Fig. 48: Analyses aux rayons-X  
des échantillons saturés en  $Mg^{+2}$ .

— — — — — Oriente'.  
- - - - - Glycerolle'.  
- . - . - . - - - - - Chauffé à 500°c.

H. 130-170 cm.



H. 0-40 cm.

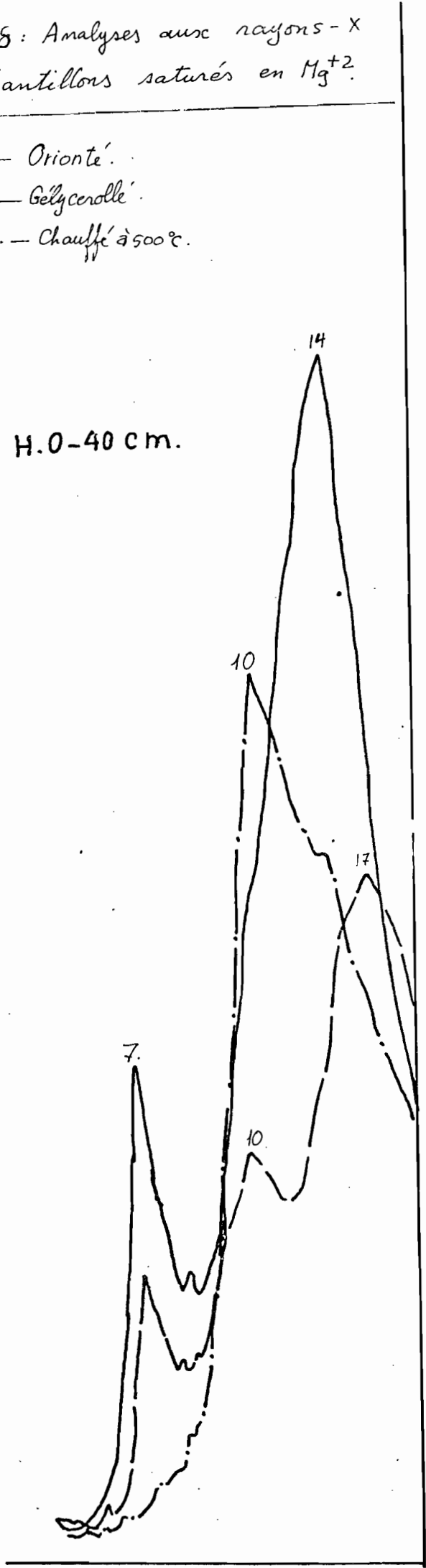


Fig. 48a:

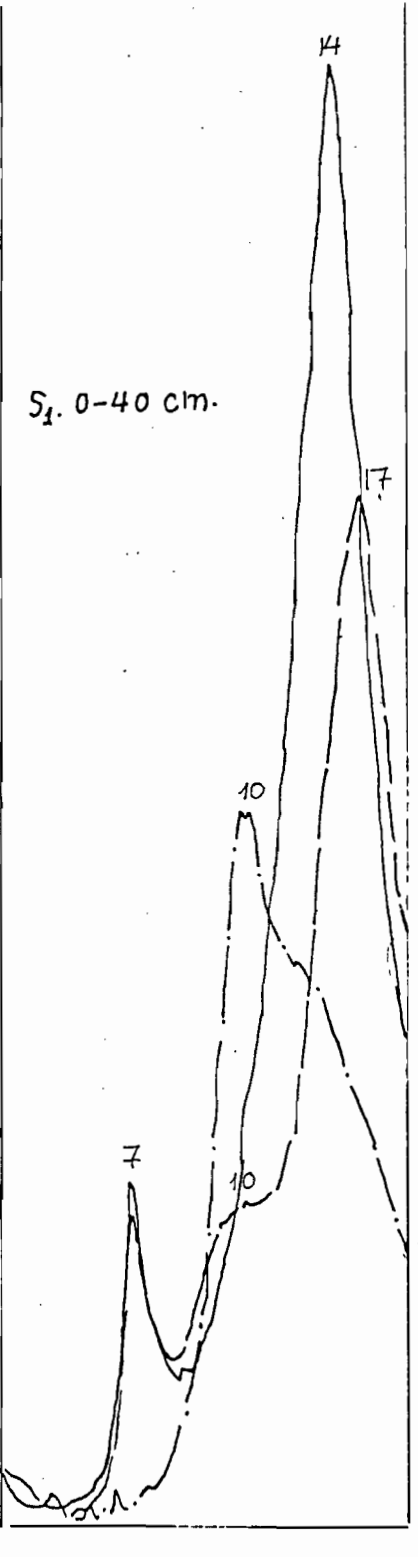
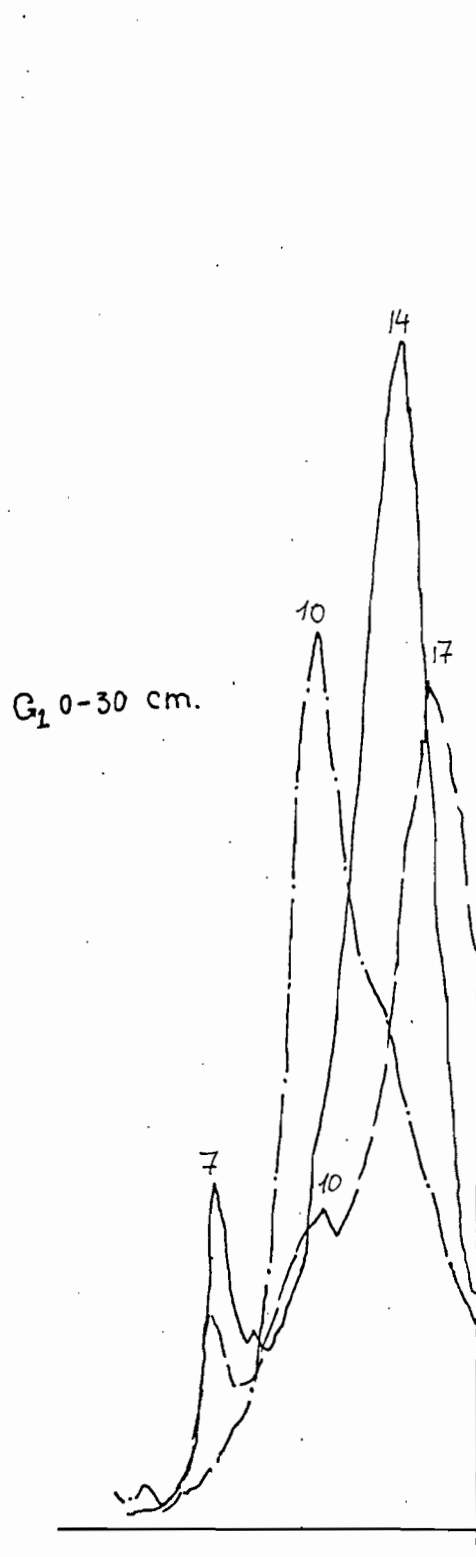
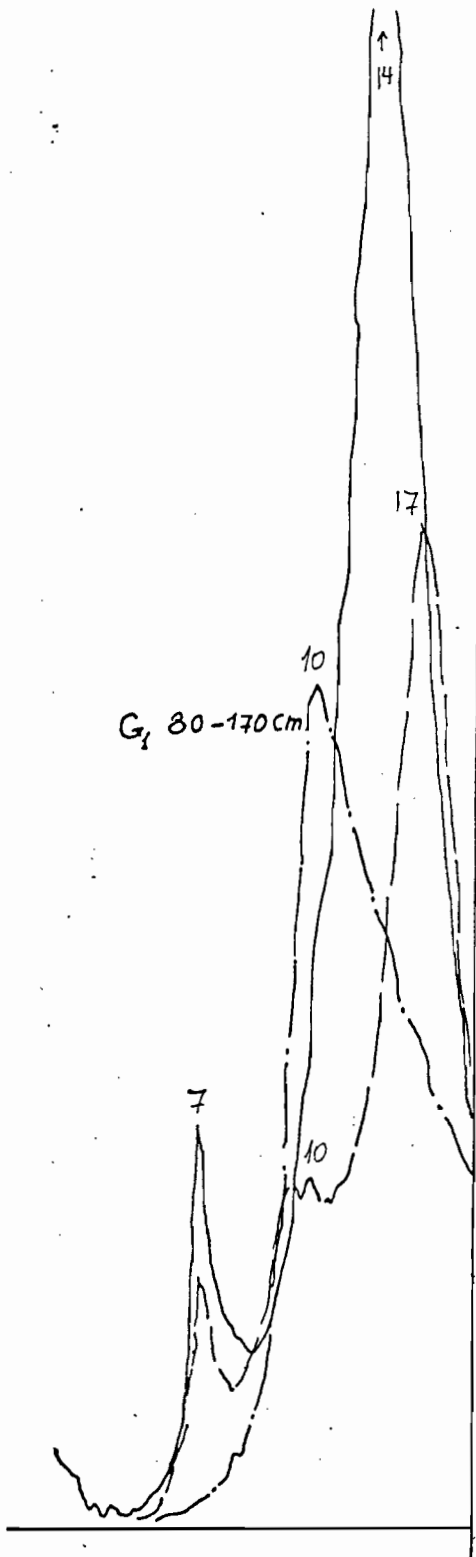


Fig. 48b:

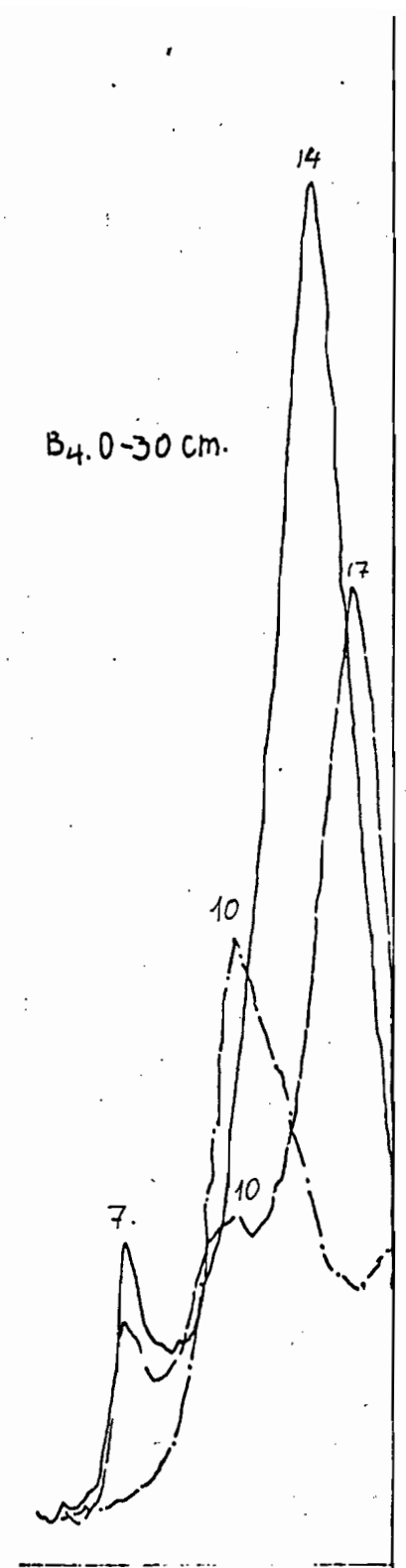
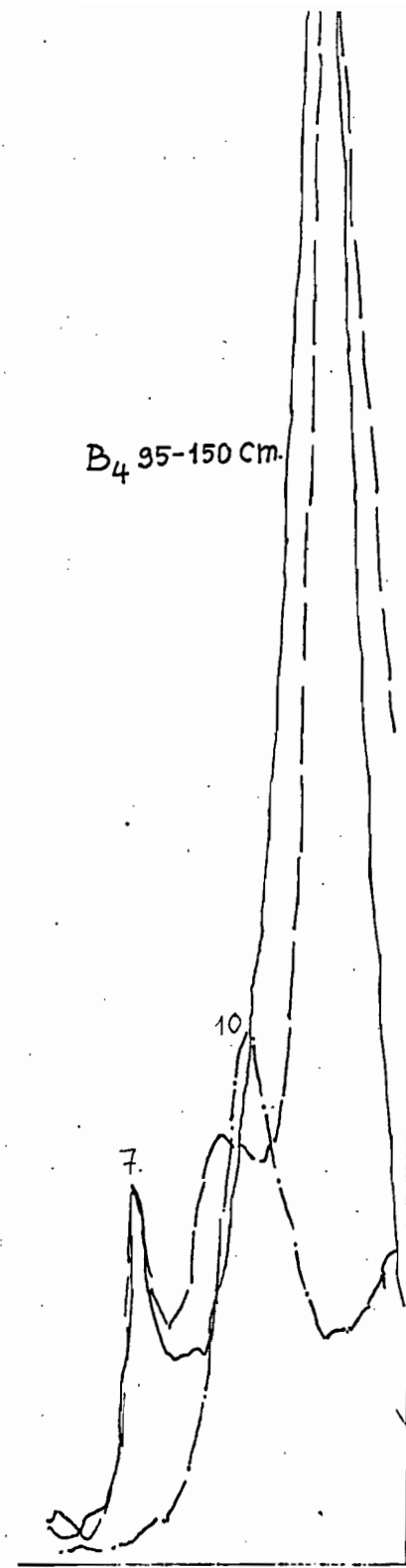
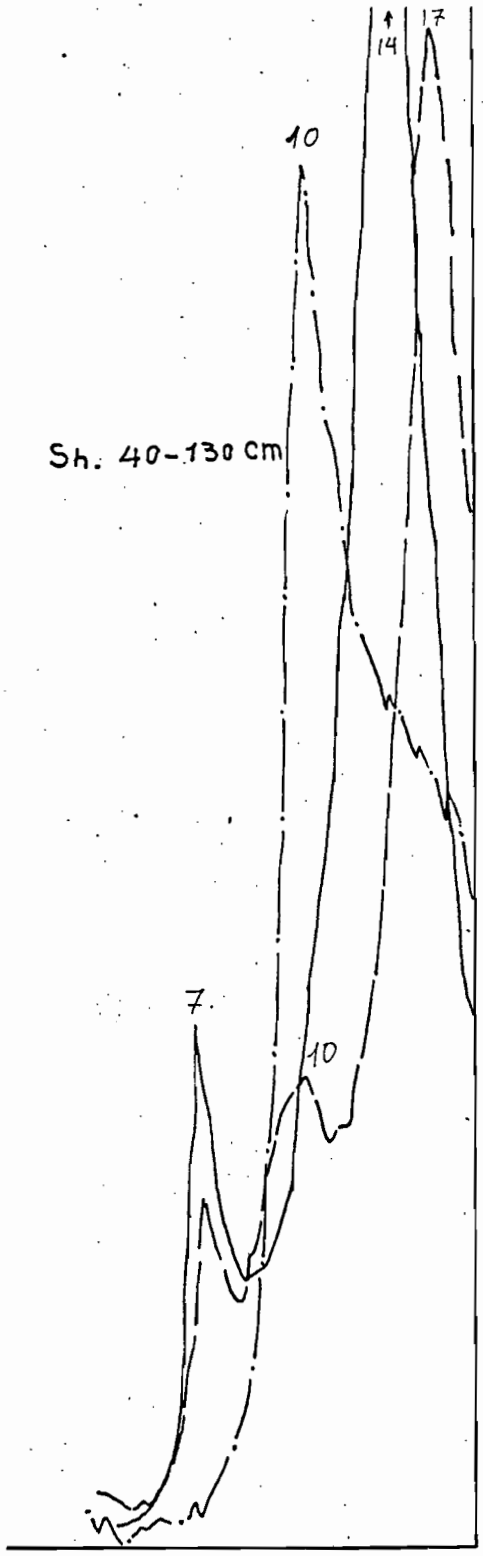


Fig.48c :

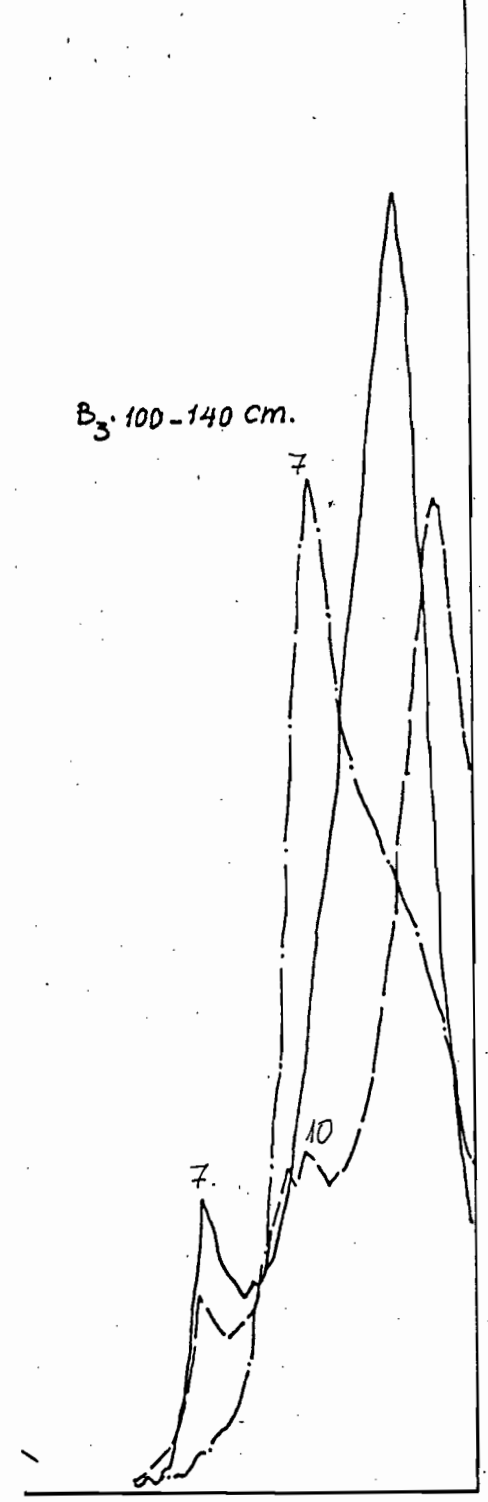
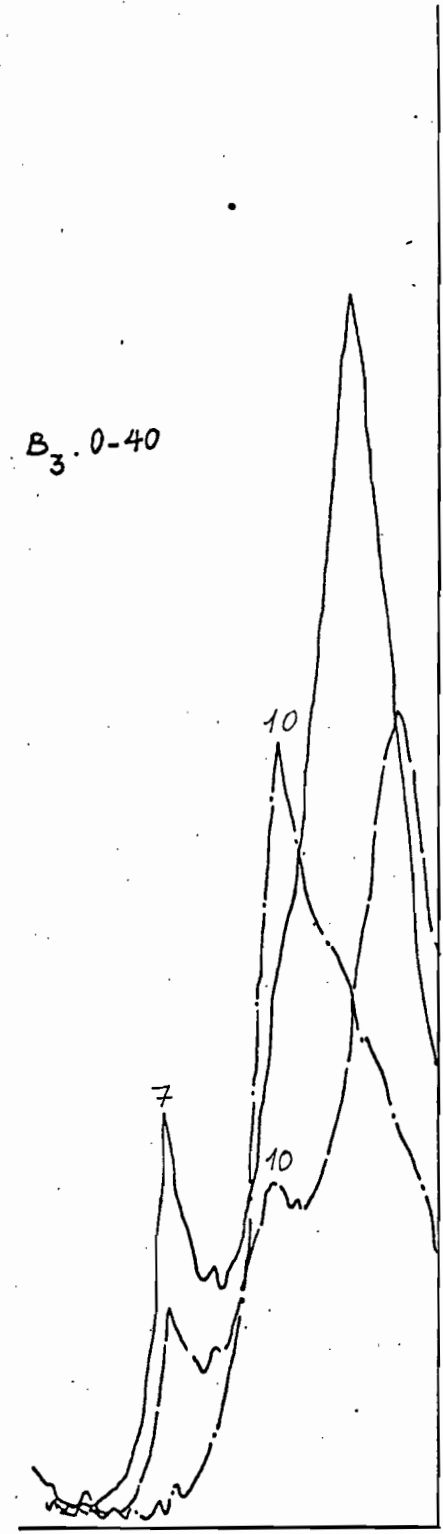
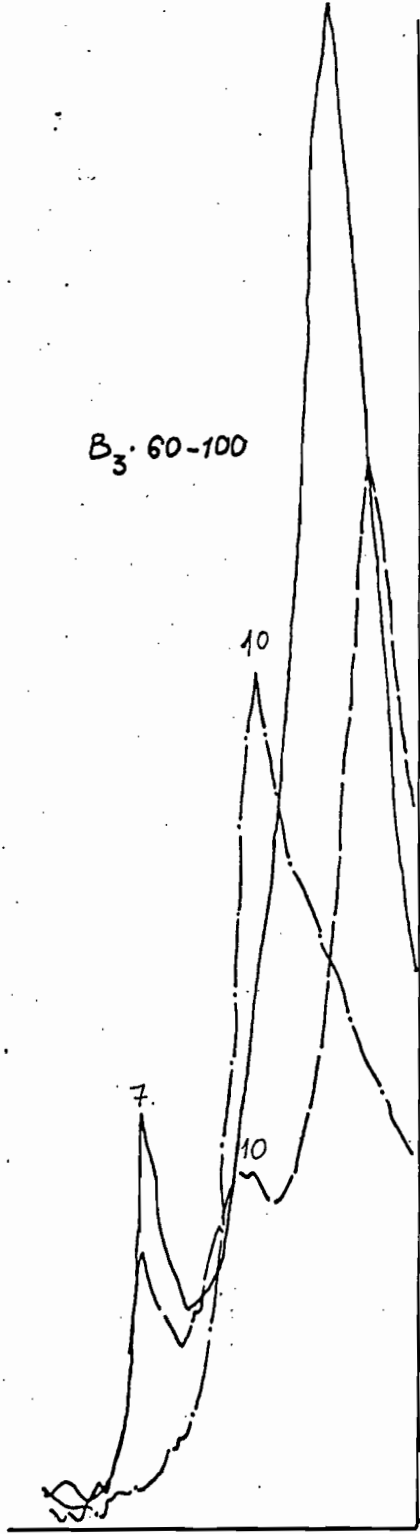
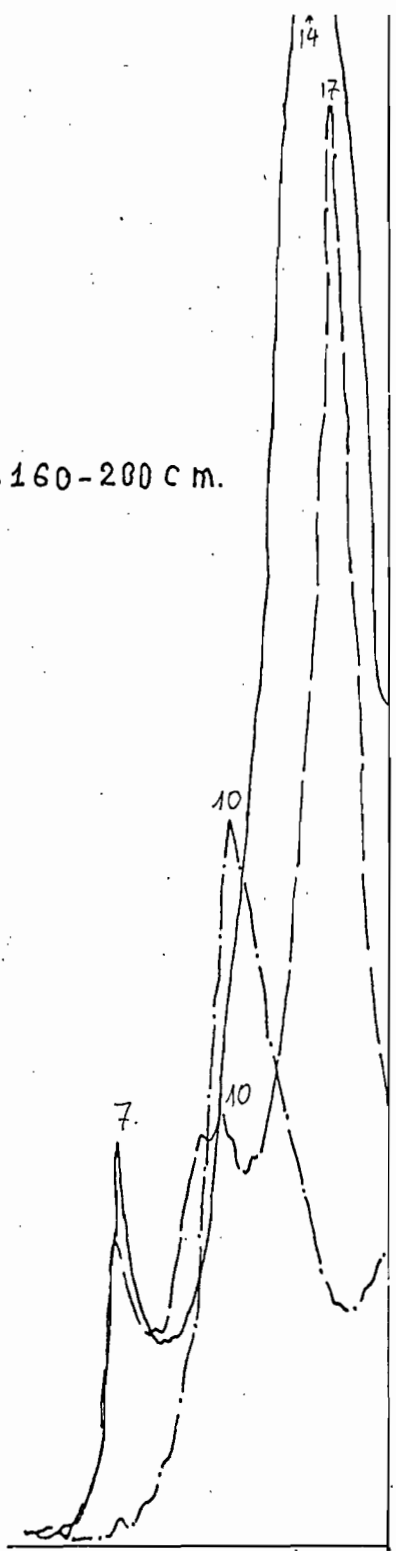
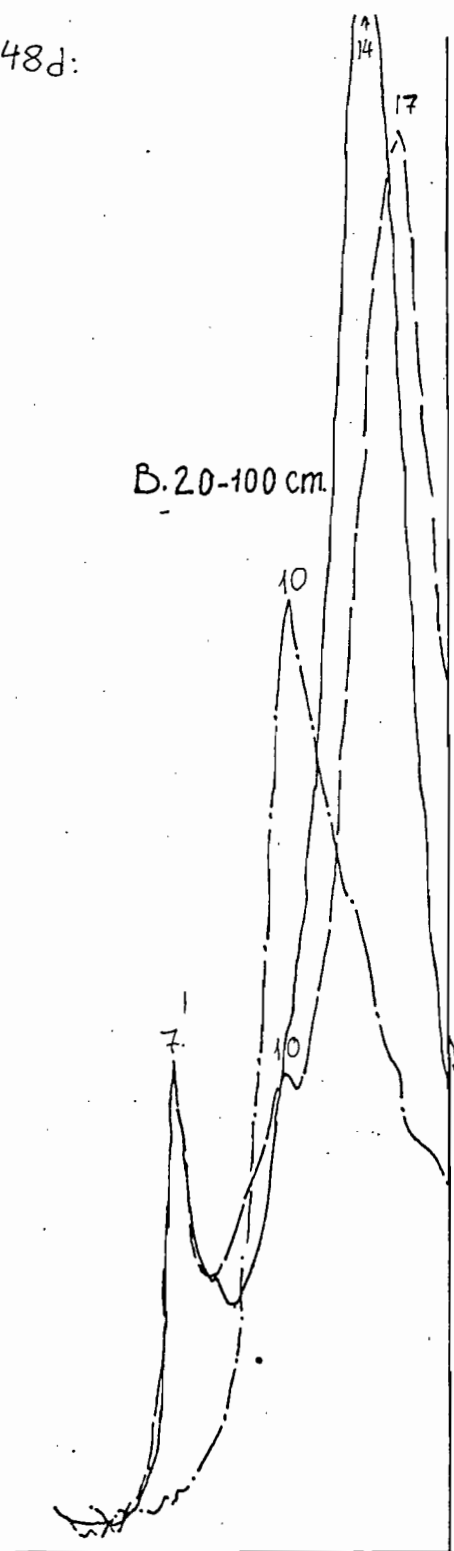


Fig. 48d:

B. 160-200 cm.



B. 20-100 cm.



B. 0-20 cm.

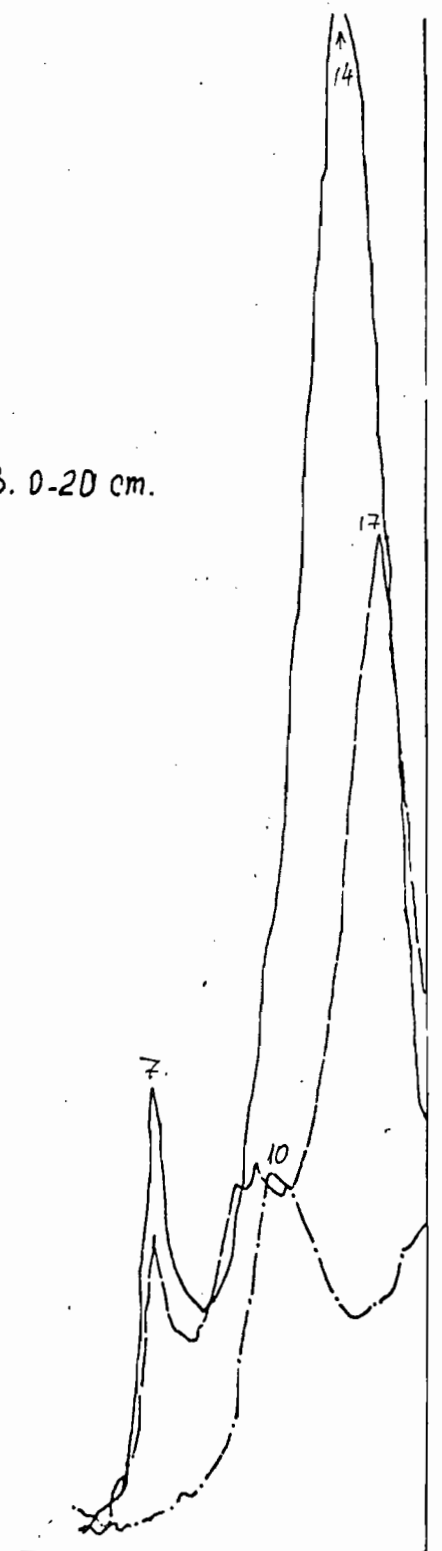
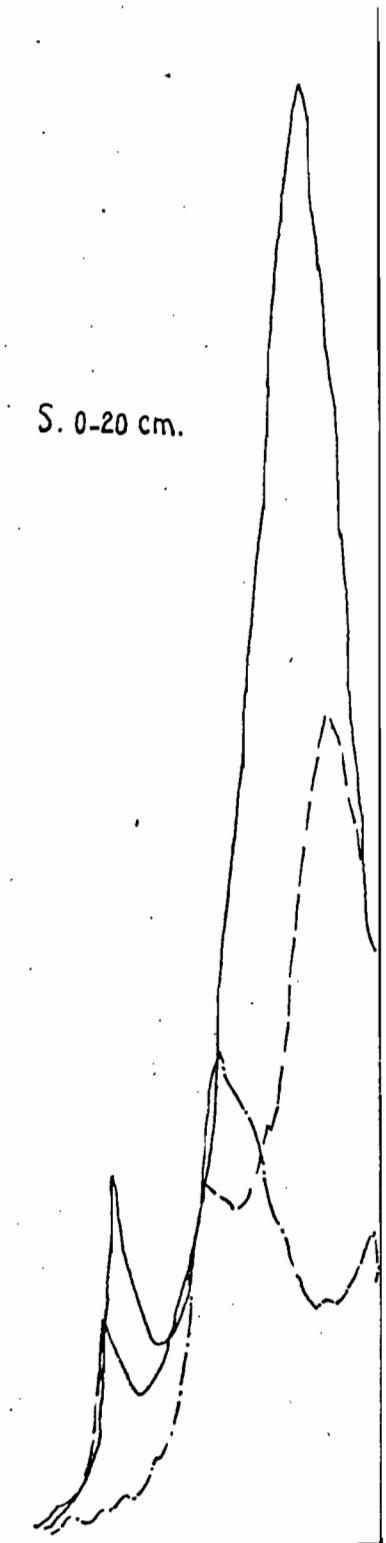


Fig. 48e:

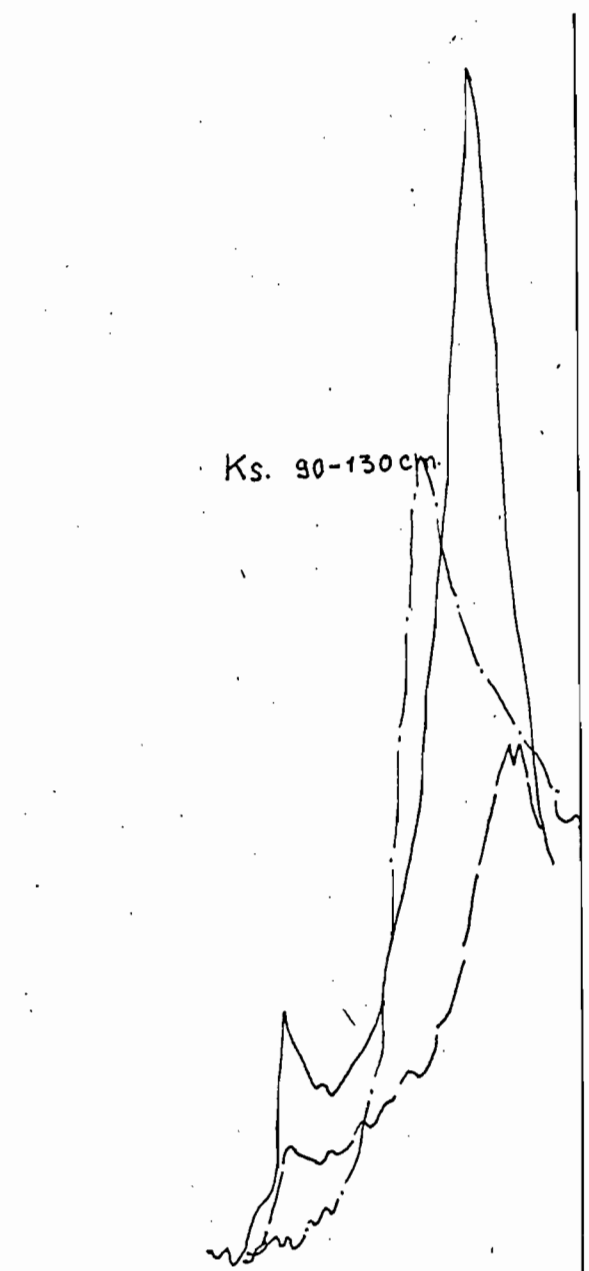
S. 130-170 cm.



S. 0-20 cm.



Ks. 90-130 cm.



Ks. 0-30 cm.

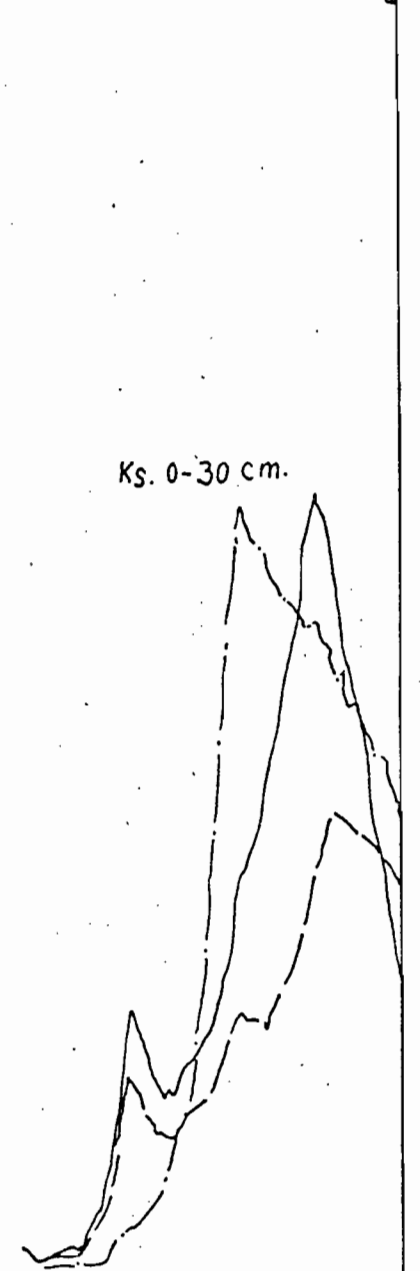


Fig. 49: Analyses aux rayons-X des échantillons saturés en  $K^+$ .

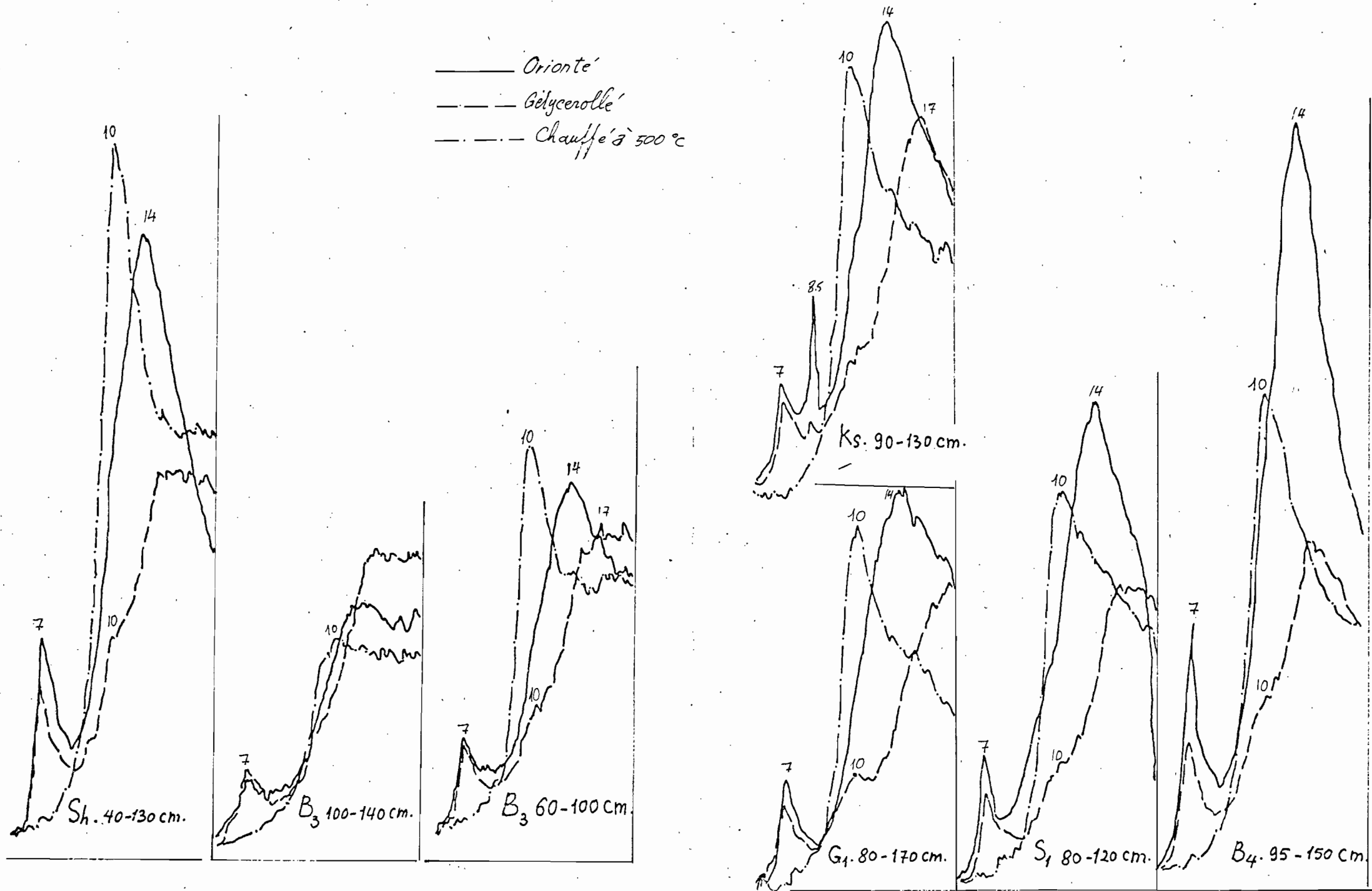


Fig 49a :

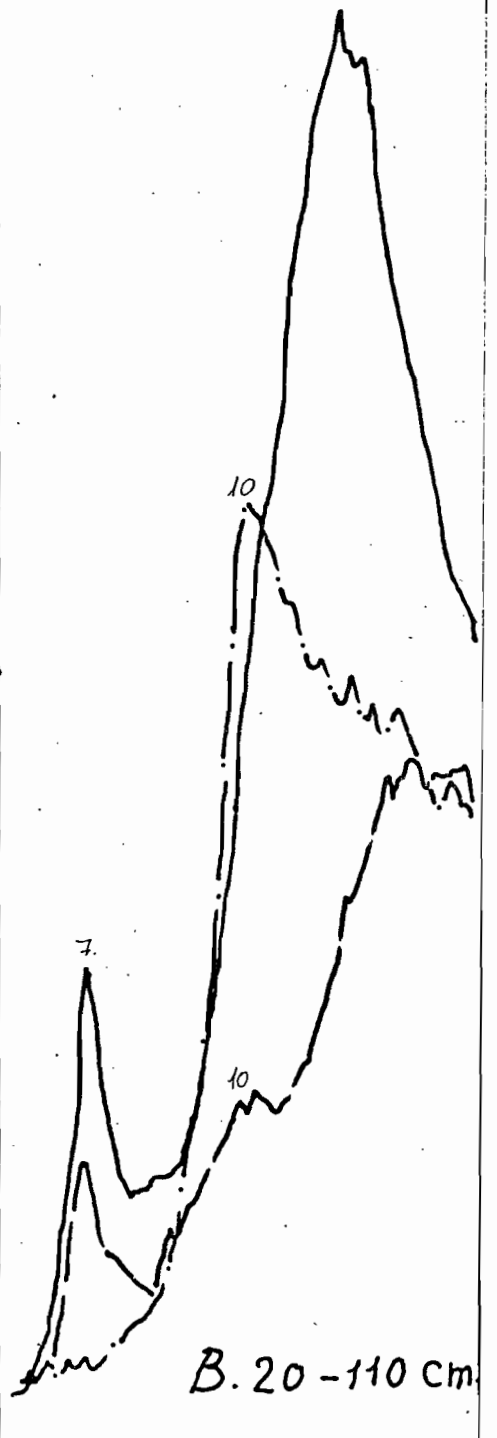
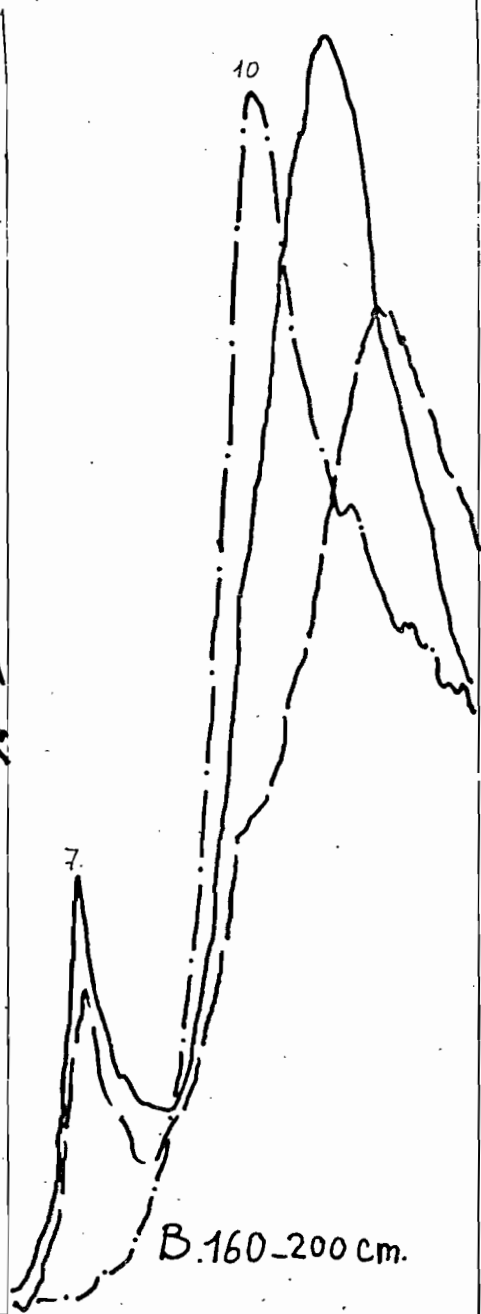
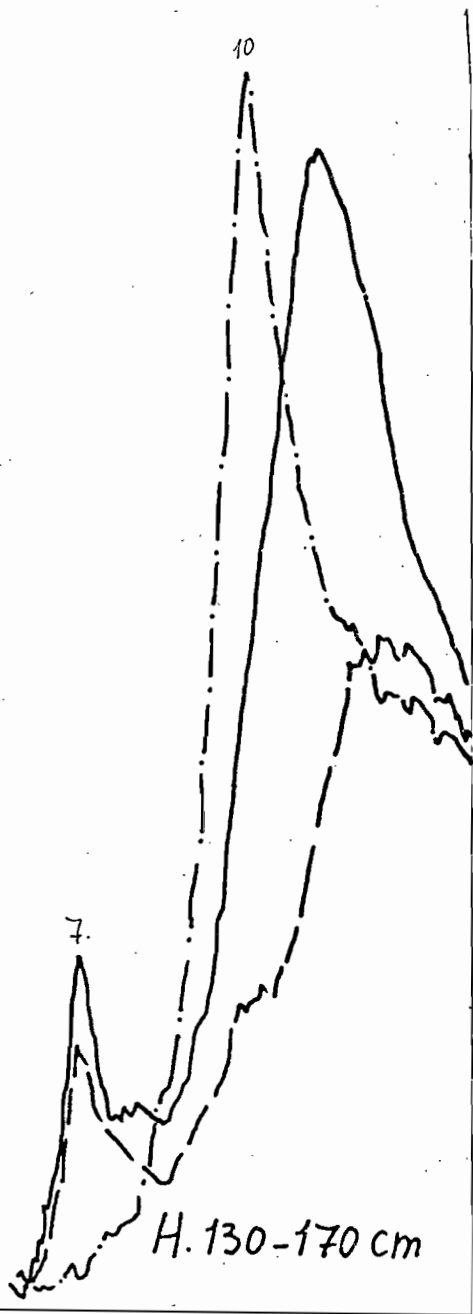


Fig. 50: Analyses thermiques différentielles de l'argile saturée en  $Mg^{+2}$ .

\* Traitement répété à l'eau oxygénée

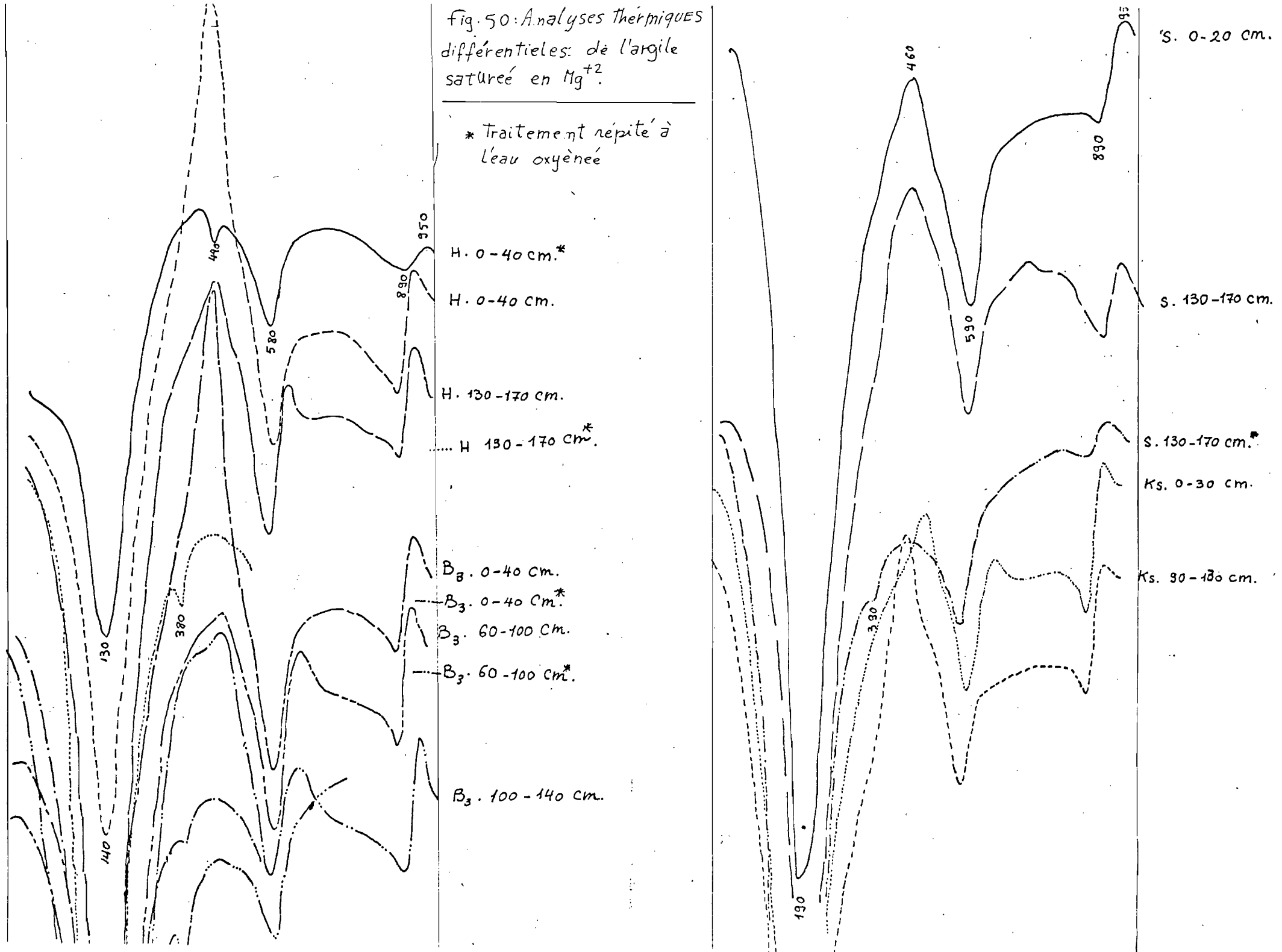
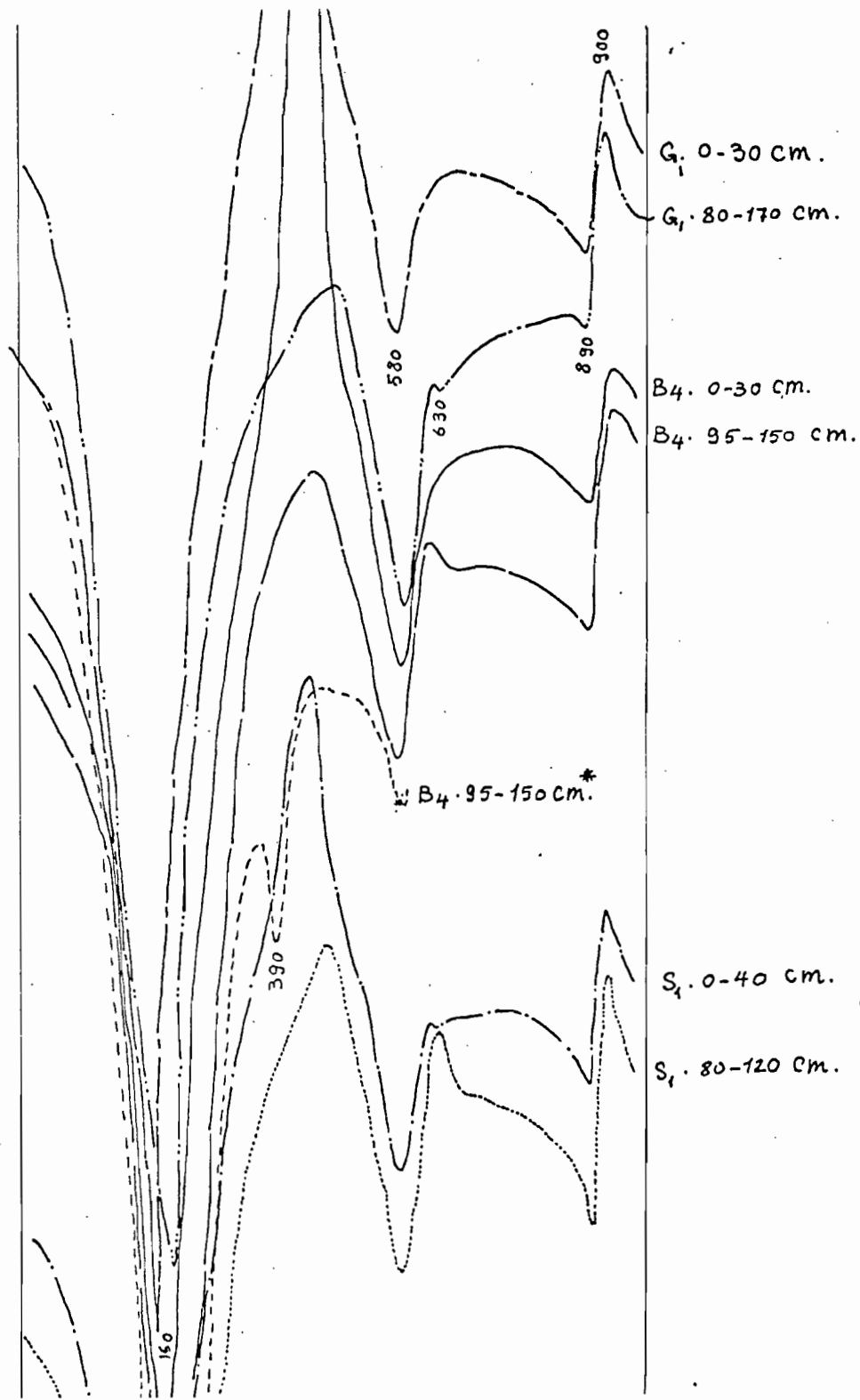
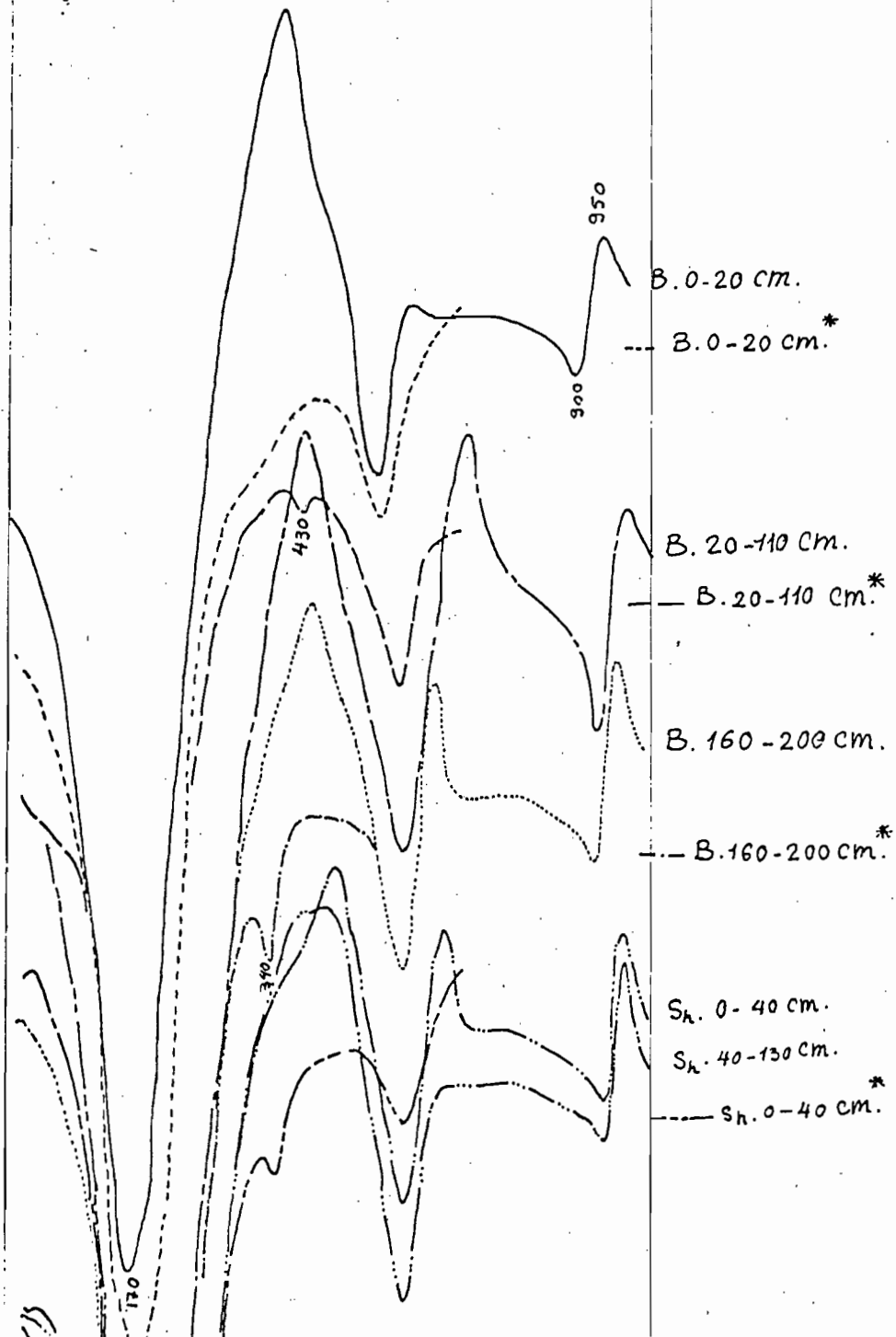


Fig. 50a:



Photos des échantillons d'argile ( $< 2 \mu$ )  
au microscope électronique.

S 0-20 cm

S1 0-40 cm

B 0-20 cm

B3 100-140 cm

B 160-200 cm

Sh 40-120 cm

H 0-40 cm

la perte de l'eau de constitution ( $\text{OH}^-$ ) de la kaolinite et la première perte de celle des minéraux du type 2:1 tels que la montmorillonite, l'illite etc... Le dernier pic endothermique se trouve à  $890^\circ\text{C}$  ; il a une intensité relativement faible. Ce pic représente le départ de  $\text{OH}^-$  de constitution restant dans les feuillets des minéraux du type 2:1.

Grim (1953), 68), Makenzie (1957) et Jackson (1968) ont montré que la réaction endothermique entre  $550^\circ\text{C}$  et  $1000^\circ\text{C}$  peut-être due à la présence de fer substitué à l'aluminium dans les positions octaédriques de la montmorillonite du type nontronite. Le tableau n° montre de forts pourcentages de fer total (12,85 - 14,8%) ; ce qui confirme que la montmorillonite de nos échantillons est du type nontronite, l'oxyde de fer non combiné y variant de 2,7 à 5,5%.

Le pic exothermique à  $950^\circ\text{C}$  indique la recristallisation de la kaolinite sous forme de mulite..

#### Observations au microscope électronique.

Les échantillons : B 0-20, B 160-200, H 0-40, B<sub>3</sub> 100-140, Sh 40-120, S<sub>1</sub> 0-40, S 0-20cm ont été observés au microscope électronique. Les photographies obtenues indiquent la dominance de la montmorillonite qui se trouve sous forme de nuages diffus, ensuite vient la kaolinite relativement bien cristallisée de forme hexagonale, et enfin l'illite qui apparaît approximativement rectangulaire. En général nous observons la faible cristallinité de la majorité des constituants, dont les formes sont souvent floues, principalement dans le cas de la montmorillonite et des minéraux illitiques.

#### Détermination des pourcentages des différents minéraux du complexe argileux

Les méthodes précédentes nous ont permis de déterminer de façon qualitative la composition minéralogique du complexe argileux des sols étudiés.

D'autres méthodes peuvent être utilisées pour acquérir une connaissance approchée des proportions de chacun d'eux.

### 1 - Analyses chimiques totales.

Le tableau n° 8 présente les résultats des analyses chimiques totales des argiles sodiques des échantillons de 9 profils. Il montre un fort pourcentage d'oxydes de fer (12,5%-14,8%) et beaucoup plus faible de manganèse (2,8%-7,2%). Les teneurs en  $K_2O$  sont faibles (1,0%-2,1%) ; elles peuvent correspondre cependant aux faibles quantités d'illite et aux traces de feldspaths reconnues par ailleurs. Depuis les études effectuées sur l'argile du delta du Nil, Kishk (résultats non publiés), a estimé que les feldspaths potassiques très fins dans cette région varient entre 3 et 5% de la fraction argileuse totale.

En supposant d'après ces valeurs que les feldspaths (teneur en  $K_2O$  à 16,7%), se trouvent à 4% dans l'argile qui contient par exemple 1,5% de  $K_2O$ , moyenne approchée entre les deux extrêmes indiquées précédemment, nous avons appliqué l'équation suivante pour obtenir le pourcentage d'illite dans la fraction  $< 2\mu$  :

$$1.5 = \frac{x (10)}{100} + \frac{4 (16.7)}{100} ; \text{ où : } x \text{ est le pourcentage d'illite qui contient environ } 10 \% \text{ de } K_2O.$$

Dans le tableau n° 9 nous constatons que l'illite varie dans les neuf profils entre 3 et 14 %. Ces pourcentages sont relativement forts dans les échantillons B4 0-30, G1 0-30, K5 0-30, H0 0-40 et B3 0-40 cm ; elles sont moyennes (10-8 %) dans S 0-20, S1 80-120 et B3 60-100 cm ; et faibles (6-3 %) dans le reste des échantillons.

Les pourcentages de  $Na_2O$  (1,8-4,0 %) sont à peu près identiques à ceux de cet élément retenu par le complexe absorbant sous forme échangeable. Nous l'avons vérifié pour chacun de nos échantillons ; nous en donnons ci-dessous deux exemples :

1. L'échantillon S0-20 cm contient 2,39 % de  $Na_2O$  % total ; sa capacité d'échange est 78,4 me/100 gr soit 2,43 % de  $Na_2O_3$ .

2. L'échantillon S 130-170 cm contient 2,41 % de  $Na_2O$  % total ; sa capacité d'échange est 81,6 me/100 gr soit 2,53 % de  $Na_2O_3$ .

Le sodium ne paraît donc pas exister dans la construction structurale des cristaux d'argile. Quant au sodium soluble, il a été entraîné lors de la préparation des argiles à étudier.

Tableau 8 - Résultats des analyses chimiques totales de l'argile sodique (< 2 $\mu$ ), pour 100g.  
d'échantillon calciné à 1 000° C ; (sauf SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	K <sup>+</sup> fixé me/100g	Perte de 400-700°C %	C E C me/100g
S 0-20	53,15	20,39	13,68	4,40	1,45	2,39	1,64	1,31	0,11	1,48	4,4	11,4	5,5	78,4
S 130-170	53,77	21,26	14,31	3,88	0,72	2,41	1,04	1,44	0,11	1,07	4,3	0,0	7,5	81,6
B 0-20	51,74	22,64	14,33	3,99	0,71	1,87	1,27	1,36	0,10	1,99	3,9	3,0	7,5	80,3
B 20-110	53,04	21,99	13,71	3,88	0,75	2,66	1,23	1,29	0,10	1,23	4,1	18,6	7,3	86,8
B 160-200	53,08	21,62	14,78	3,68	0,77	2,83	1,02	1,13	0,08	1,01	4,2	17,0	6,5	98,4
H 0-40	52,26	20,71	13,17	6,74	0,80	2,20	1,85	1,26	0,14	0,86	4,3	31,0	6,9	78,3
H 130-170	53,73	23,49	13,14	2,98	0,32	2,67	1,20	1,31	0,14	1,01	3,9	43,8	7,2	110,0
B <sub>3</sub> 0-40	52,89	21,85	13,17	4,95	0,78	2,46	1,84	1,38	0,14	0,55	4,1	19,5	7,7	81,8
B <sub>3</sub> 60-100	53,15	21,99	13,77	3,76	0,57	2,81	1,44	1,30	0,11	1,41	4,1	18,3	7,1	103,0
B <sub>3</sub> 100-140	53,60	21,98	12,66	3,23	0,34	4,02	1,30	1,38	0,06	1,42	4,2	0,0	8,3	132,0
S <sub>h</sub> 0-40	53,31	22,79	13,33	3,35	0,28	2,54	1,32	1,26	0,06	1,76	3,9	0,0	7,0	84,2
S <sub>h</sub> 40-130	54,39	22,64	12,54	2,83	0,24	3,35	1,32	1,25	0,06	1,38	4,1	0,0	7,1	97,1
B <sub>4</sub> 0-30	52,46	22,65	13,65	4,10	1,42	2,95	1,09	1,42	0,14	1,11	4,1	14,1	7,1	78,9
B <sub>4</sub> 95-150	54,18	21,64	14,08	4,15	0,45	2,70	0,99	1,42	0,11	0,91	4,3	7,0	6,4	93,7
S <sub>1</sub> 0-40	53,60	20,05	13,10	4,57	2,51	2,66	1,19	1,43	0,11	0,77	4,5	8,3	4,6	85,9
S <sub>1</sub> 80-120	54,22	20,09	12,85	4,42	1,64	2,69	1,51	1,40	0,10	1,07	4,6	12,6	7,1	85,4
G <sub>1</sub> 0-30	53,27	21,54	13,29	4,23	0,90	1,78	2,08	1,49	0,10	1,19	4,2	0,0	7,1	69,8
G <sub>1</sub> 80-170	54,38	20,54	13,07	3,98	1,95	2,45	1,25	1,23	0,08	1,23	4,5	10,7	6,7	85,3
K <sub>s</sub> 0-30	52,59	19,67	13,44	6,01	0,71	2,07	1,85	1,36	0,10	1,24	4,5	0,0	8,2	70,1
K <sub>s</sub> 90-130	53,08	21,21	14,61	3,77	0,91	2,10	1,19	1,61	0,13	1,39	4,3	0,0	6,6	72,1

Les faibles pourcentages de CaO (0,2 - 2,5 %) ne paraissent pas toujours cependant en relation avec les teneurs en calcite indiquées par la diffraction aux Rayons X. Le calcaire peut donc exister, au moins dans certains cas, sous une forme très fine, probablement, pratiquement amorphe.

Les valeurs de  $TiO_2$  %,  $MnO$  %,  $P_2O_5$  %, sont considérées comme correspondant à des oxydes libres. Elles sont faibles et varient entre 1,1 - 1,6 %, 0,1 - 1,1 % et 0,6 - 2,0 % respectivement.

Le rapport  $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$  qui varie entre 4,6 et 3,9 Indique l'abondance des minéraux du type 2/1, tels que la montmorillonite dans le complexe argilleux des sols étudiés.

Les fortes teneurs en  $Fe_2O_3$  total (12,5 - 14,8 %) bien supérieures à celles des oxydes libres indiquent une relative abondance de fer combiné qui appartient probablement au réseau des argiles. Par ailleurs les proportions de  $Al_2O_3$  % 19,7 - 23,5 % sont relativement faibles ; ce qui peut correspondre au remplacement de l'aluminium par le fer dans les positions octaédriques de la montmorillonite abondante dans le mélange et qui est alors du type nontronite.

## 2 - Détermination du potassium fixé.

Pour pouvoir calculer la proportion de la vermiculite, selon la méthode de AEXIADES et JACKSON (1965), nous avons déterminé le pourcentage de potassium fixé en plus de la capacité d'échange. En effet, Vermiculite % =  $\frac{\text{Potassium fixé me/100 gr}}{154} \times 100$ .

Les résultats obtenus sont présentés au tableau n° 9.

Les pourcentages de la vermiculite sont très variables (0 - 28 %); relativement fortes (20 et 28 %) dans les échantillons H 0-40 et H 130-170 cm respectivement, moyennes (8-13 %) dans B3 0-40, B3 100-140, B 20-110, B 160-200, B4 0-30 et S1 80-120 cm ; et faibles (2-7 %) dans G1 80-170, S1 0-40, B4 95-150 et B 0-20 cm. Dans le reste des échantillons, il paraît ne pas y avoir pratiquement de vermiculite.

### 3 - Détermination de la capacité d'échange.

Les valeurs obtenues pour la capacité d'échange des argiles étudiées sont présentées dans le tableau n° 8. Les résultats indiquent qu'elle est relativement forte et varie entre 70 et 132 me/100 gr. Cela peut être attribué à la dominance de la montmorillonite ou peut-être aux quantités de matière organique qui se maintiennent malgré les traitements répétés à l'eau oxygénée.

D'après BARSHAD (1965), la montmorillonite du type à forte charge négative a une capacité d'échange à 125-130 me/100 gr. En appliquant la formule suivante nous pouvons calculer le pourcentage de la montmorillonite (x) dans le cas où la C.E.C. = 80 me/100 gr ;

$$80 = x (130) + K (8) + I (40) + V (150)$$

Soit K = le pourcentage de la kaolinite (C.E.C. = 8 me/100 gr)

I = " d'illite (C.E.C. = 40 me/100 gr)

et V = " de la vermiculite (C.E.C. = 150 me/100 gr).

Les résultats ainsi obtenus restent approchés, les valeurs utilisées pour chaque type d'argile étant susceptibles de varier même d'un échantillon à l'autre.

La montmorillonite se trouve en fortes quantités, entre 26 et 58%. Sa proportion est relativement plus forte (45 - 58 %) dans les échantillons; B4 0-30, B4 95-150, Sh 0-40, Sh 40-130, B 160-200, S 0-20, S 130-170, G1 80-170 et Ks 90-130 cm ; elle est moyenne (38-44 %) dans G1 0-30, S1 80-120, B 20-110 et Ks 0-30 cm et relativement plus faible (26, 29 et 32 %) dans H 0-40 , H 130-170 et B3 60-100 respectivement.

### 4. Analyses thermiques pondérales.

Les résultats obtenus par l'analyse thermique pondérale sont présentés dans les figures 51 a, b, c et d. La chute de poids entre 400° et 700° C indique la perte d'hydroxyle des minéraux argileux : 5 % dans la montmorillonite, dans l'illite et dans la vermiculite et 16 % dans la kaolinite ; en utilisant la formule suivante, nous pouvons obtenir le pourcentage de la kaolinite x % :

$$\text{Perte d'eau entre 400 et 700° C} = \text{Vermiculite \%} \times 5 + \text{Illite \%} \times 5 + \text{Montmorillonite \%} \times 5 + \frac{x \times 16}{100}$$

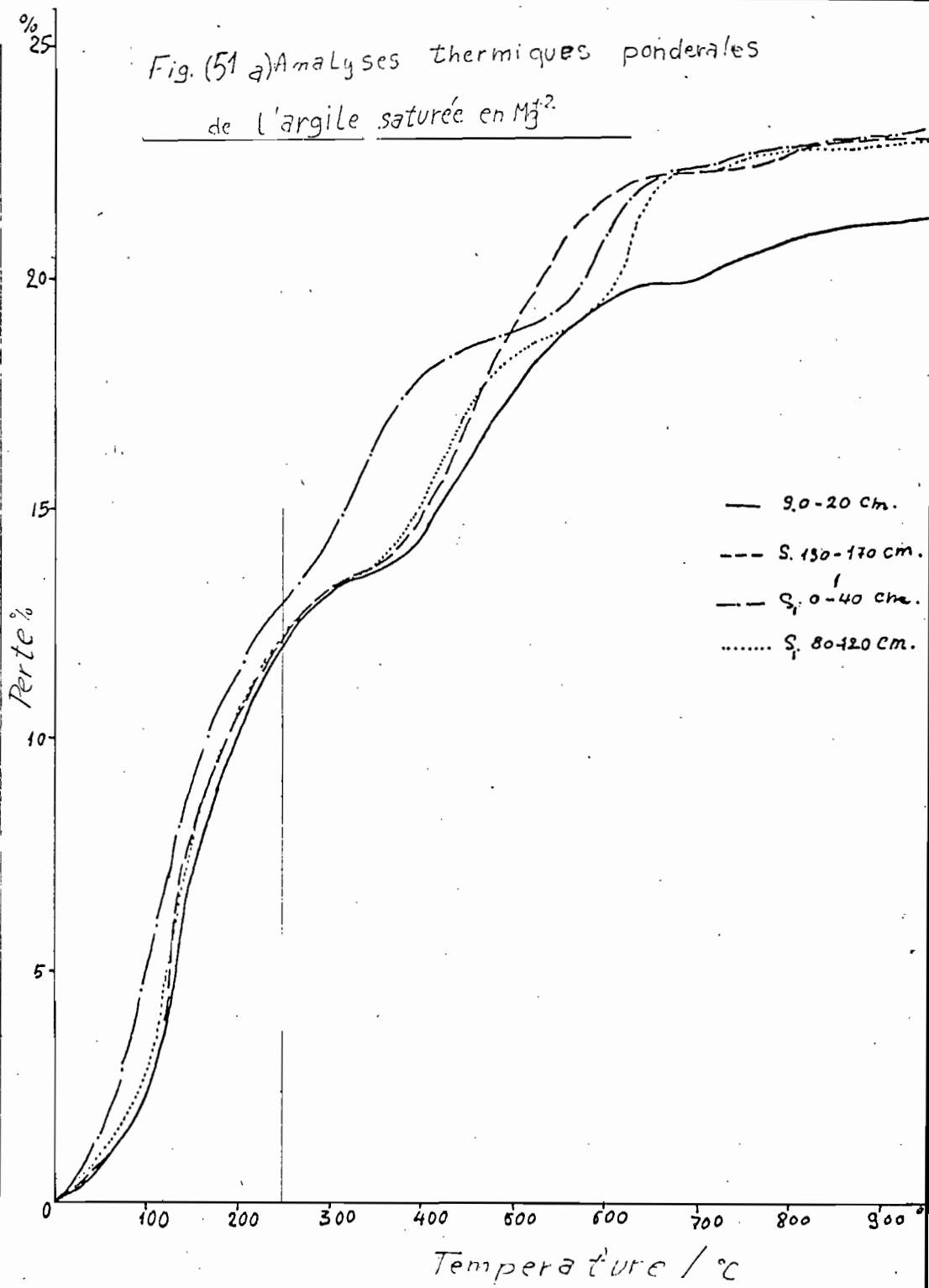
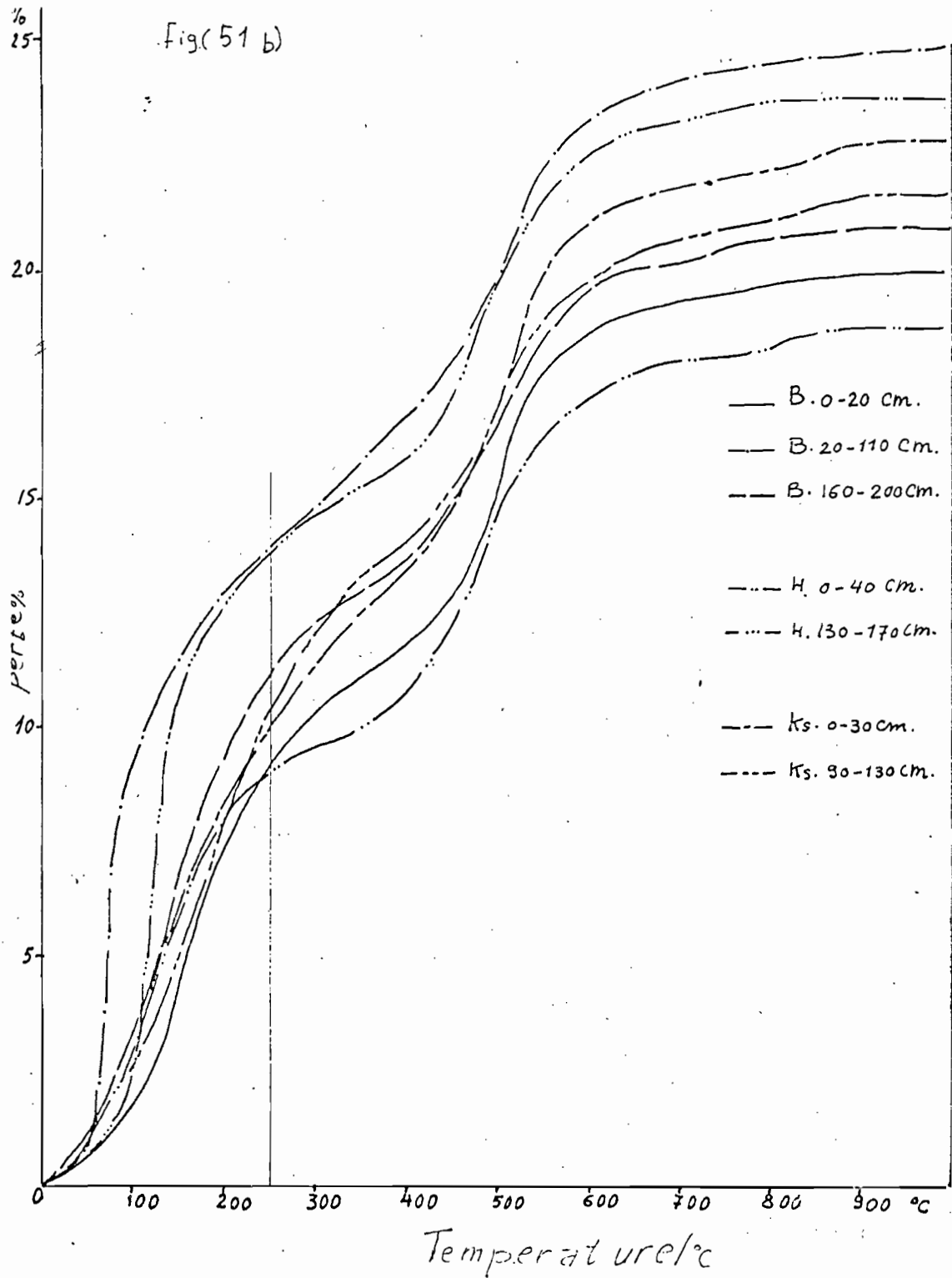
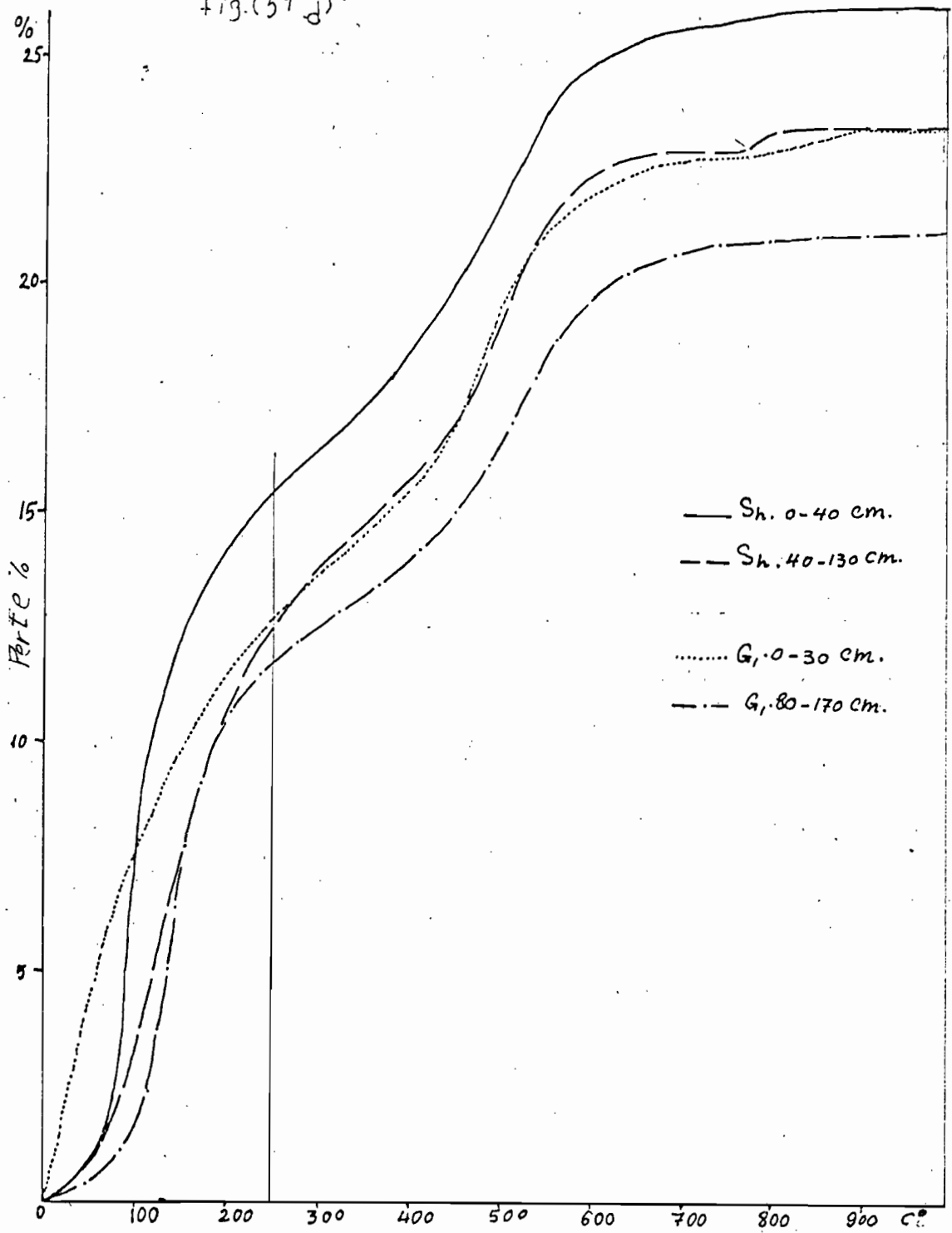
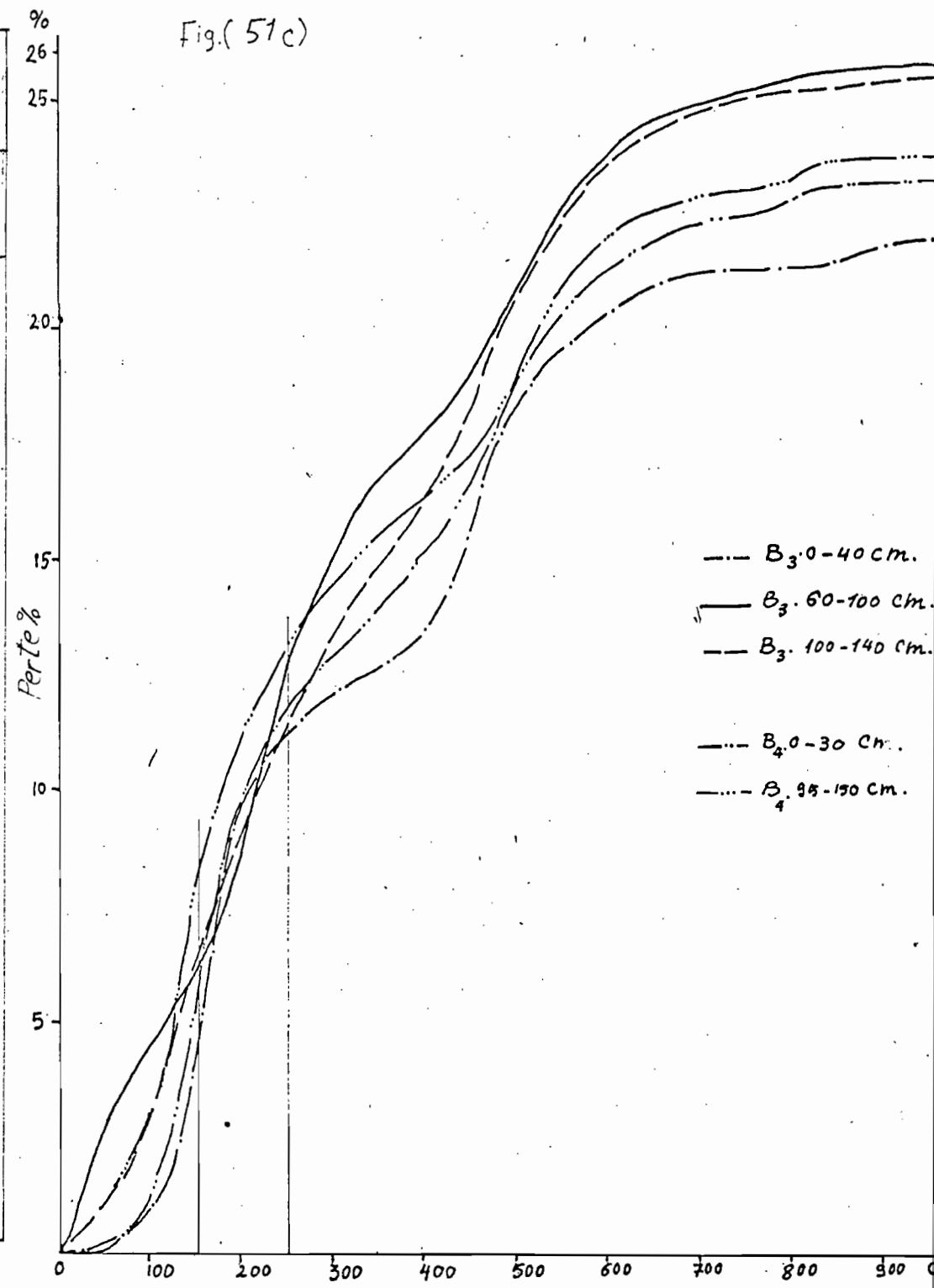


Fig. (51 d)



Temperature / c°

Fig. (51 c)



Temperature / c°

Tableau 9 - Composition minéralogique de la fraction < 2μ en % de l'échantillon calciné à 1000°C

Echantillons	Mont. %	Kaol. %	Illite %	Verm. %	Qua. %	feld. %	O X Y D E S						CaCO <sub>3</sub> %
							SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	MnO %	
S 0-20	45	13	10	7	3	4	8,3	2,1	4,5	1,3	1,5	0,1	2,6
S 130-170	48	21	4	0	3	4	8,8	3,1	5,3	1,4	1,1	0,1	1,3
B 0-20	46	20	6	2	3	4	9,4	1,3	5,4	1,4	2,0	0,1	1,3
B 20-110	38	18	5	12	3	4	8,7	1,9	5,1	1,3	1,2	1,1	1,3
B 160-200	47	12	3	11	3	4	7,7	4,4	5,5	1,1	1,0	0,1	1,3
H 0-40	26	18	12	20	3	4	6,8	2,5	3,5	1,3	0,9	0,1	1,4
H 130-170	29	11	5	28	3	4	9,2	4,7	4,0	1,3	1,0	0,1	1,4
B3 0-40	32	19	12	13	3	4	7,9	3,3	4,1	1,4	0,6	0,1	0,6
B3 60-100	38	11	8	12	3	4	9,6	3,9	4,6	1,3	1,4	0,1	1,4
B3 100-140	-	-	6	0,	3	4	8,7	4,3	3,9	1,4	1,4	0,1	1,0
Sh 0-40	50	17	6	0,	3	4	7,7	4,1	4,3	1,3	1,8	0,1	0,6
Sh 40-130	52	14	6	0,	3	4	9,9	3,8	3,9	1,3	1,4	0,1	0,5
B4 0-30	46	23	14	9	3	4	8,6	4,7	4,6	1,4	1,1	0,1	0,4
B4 95-150	51	13	3	4	3	4	8,3	4,3	4,3	1,4	0,9	0,1	2,5
S1 0-40	58	7	5	5	3	4	6,4	2,1	4,3	1,4	0,8	0,1	4,5
S1 80-120	44	18	8	8	3	4	4,1	1,9	4,0	1,5	1,1	0,1	2,9
G1 0-30	42	22	14	0	3	4	4,9	1,9	3,7	1,5	1,2	0,1	1,6
G1 80-170	46	17	6	7	3	4	5,1	1,6	2,7	1,2	1,2	0,1	3,5
Ks 0-30	44	28	12	0	3	4	2,5	1,2	3,3	1,4	1,2	0,1	1,2
Ks 90-130	50	21	5	0	3	4	5,0	2,1	5,1	1,6	1,4	0,1	1,6

Le tableau n° 9 montre les quantités moyennes de kaolinite qui varient entre 11 et 28 %. Elles sont relativement fortes (28-20 %) dans les échantillons Ks 0-30, Ks 90-130, S 130-170, G1 0-30, B 0-20 et B4 0-30 cm ; moyennes (19-14 %) dans B3 0-40, H 0-40, Sh 0-40, Sh 40-130, S1 80-120 et G1 80-120 cm ; et faible : 13, 12, 11 et 7 % dans S 0-20, B 160-200, H 130-170, B3 60-100 et S1 0-40 cm respectivement.

#### Effet des caractères de salinité et d'alcalinité sur les minéraux argileux du sol.

Des études intéressantes sur la typologie et l'évolution des argiles des sols salés et des sols à alcali, ont été réalisées en divers pays, en particulier en Yougoslavie, en Hongrie et en Egypte. Nous traiterons à part ces derniers. Pour les autres on peut résumer leurs résultats comme suit.

Dans certains solonetz étudiés en Yougoslavie par N. MIJKOVIC et N. PLAMERA (1971), les argiles de l'horizon C, d'origine loessique, sont surtout riches en montmorillonite.

Sa teneur est faible en A et B où le quartz est dominant. Les variations entre A et B sont faibles ; elles ne sont dues qu'à des phénomènes des migrations mécaniques.

La différence entre la composition minéralogique du complexe argileux de A et B d'une part et de C d'autre part, est probablement due à une altération de la montmorillonite dans les horizons supérieurs.

Dans les sols alcalins de Hongrie, l'influence de l'alcalinisation sur l'argile, par suite de la présence des sels alcalins de sodium, surtout bicarbonates et carbonates et des successions de périodes de forte humidité et de forte aridité, paraît être la cause d'une destruction de l'argile dans les horizons de surface, et probablement de la transformation de l'illite en montmorillonite (L. GEREL, 1968).

Cette transformation se produirait aussi dans les sols très salés à alcali (solonetz - solontchaks).

Dans les sols sodiques de prairie du même pays, solonetz et solonetz très salés de prairie, K. DARAB, L. GERIE, M. REMENYI et G. SENDRIE (1971), ont mis en évidence une dégradation par hydrolyse des hydromicas du complexe argileux surtout dans la fraction de 1 à 5  $\mu$ , des horizons A et B ; corrélativement la teneur en chlorite y augmente.

Ils ont aussi signalé en liaison avec la forte alcalinité de l'horizon B du solonetz une diminution de sa densité et sa richesse en particules colloïdales fortement dispersées et hydrophiles.

En Egypte, ABD-EL-AAL (1969), dans son étude sur les minéraux argileux du delta du Nil, a conclu que l'augmentation de la montmorillonite avec la profondeur est due à la forte migration de l'argile Na, en particules fines, de l'horizon A et son illuviation dans l'horizon situé au-dessous. Il indique cependant qu'en conditions alcalines paraît se produire l'altération du mica hydraté en montmorillonite.

Au contraire EL-SHEEMY (1972) a indiqué que l'accumulation des sels et du sodium ne paraît pas causer une forte altération des minéraux argileux des divers sols du delta. Cependant ces minéraux semblent présenter une cristallinité particulièrement faible dans les couches nettement salées ou alcalinisées en même temps que la teneur en oxydes libres et spécialement en silice y augmente fortement.

Nous devons reconnaître que l'effet de la salinisation et de l'alcalinisation semble être faible sur l'argile des sols que nous avons étudiés dans ce travail.

D'après les diagrammes de rayons X sur poudre (Fig. 47 ), les échantillons B4 95-150, Sh 0-40, H 0-40, H 130-170, G1 80-170, S 130-170, B 160-200, B3 60-100, B3 100-140, Ks 0-30, Ks 90-130, B3 0-40 et Sh 40-130 cm, présentent des pics relativement beaucoup moins nets que les autres échantillons.

D'après nos observations au microscope électronique, indiquées précédemment, ce caractère particulier paraît dû, au moins à une moins bonne cristallisation.

Plusieurs facteurs peuvent jouer :

- influence d'un excès de matière organique qui se maintient malgré des traitements répétés à l'eau oxygénée (B 160-200, Sh 0-40, H 0-40, H 130-170, B3 0-40 et S 130-170 cm) (Fig. 50).

- Présence d'oxydes libres et de calcaire (S 0-20, B4 95-150, G1 80-170, H 130-170, B3 60-100, B3 100-140 et Sh 40-130) (Tabl. 9).

Fig : 65<sub>a</sub> La corrélation est positive entre le pourcentage de la montmorillonite et des oxydes et le pourcentage de sodium échangeable du sol.

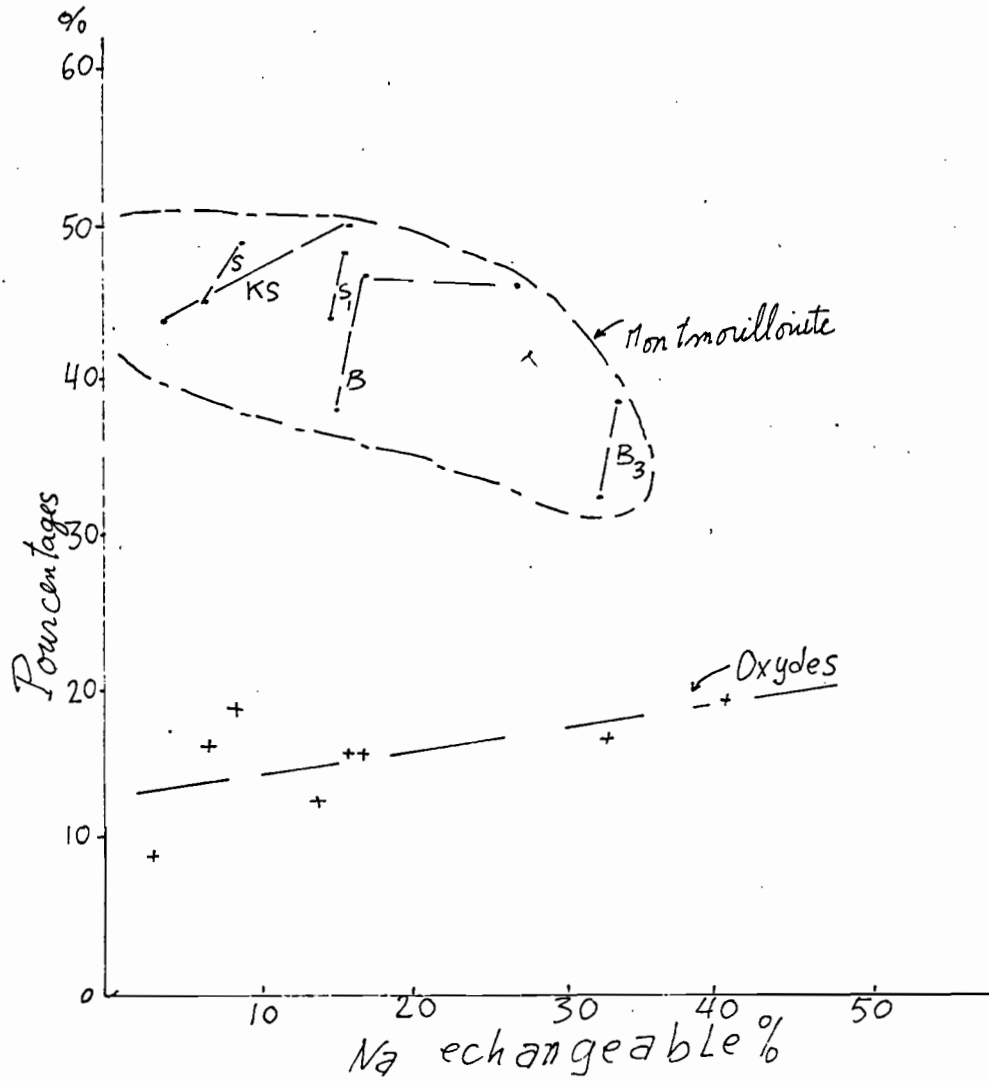


Fig : 65<sub>b</sub> La corrélation est négative entre le pH du sol et le pourcentage de la montmorillonite, et positive avec des oxydes.

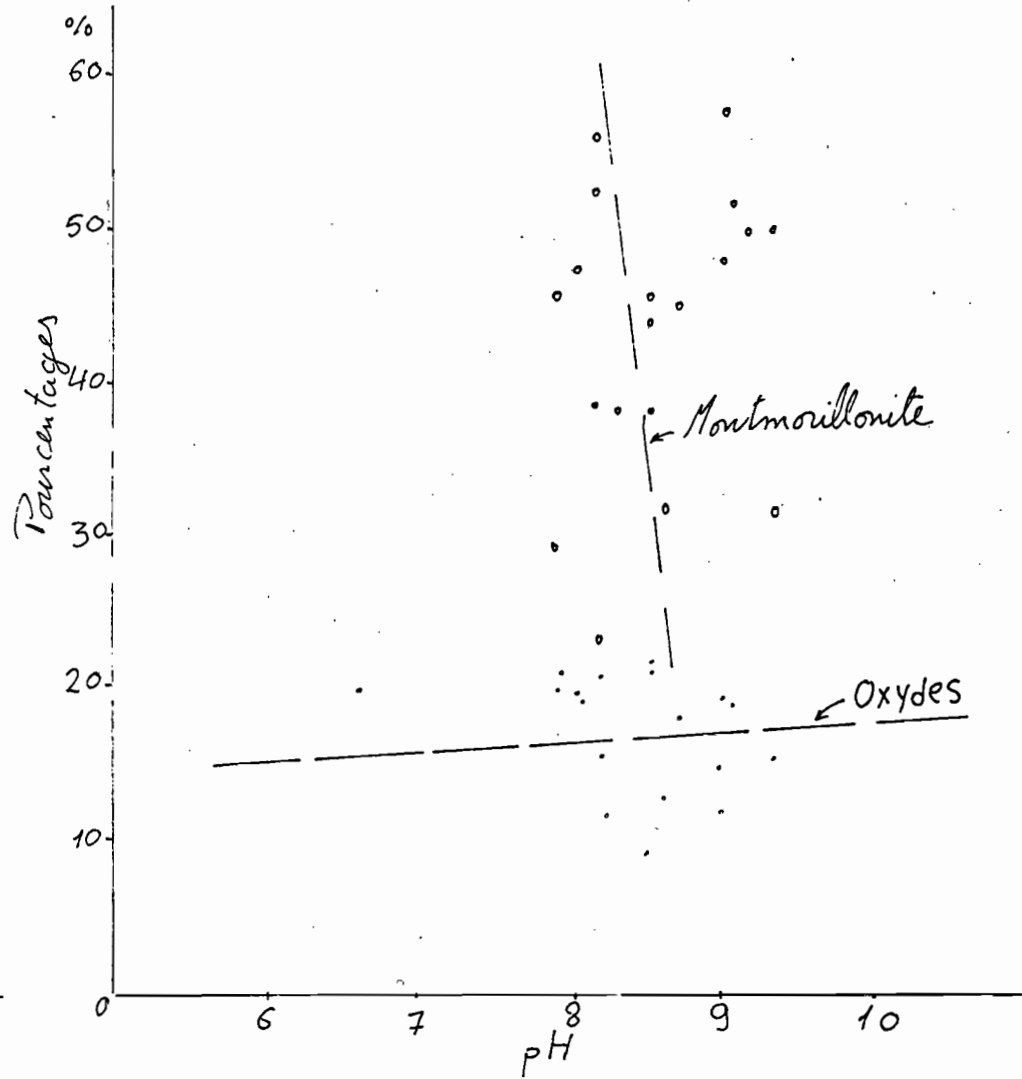


Fig : 66 La corrélation est positive entre la salure du sol et le pourcentage de la montmorillonite, et absente avec les oxydes.

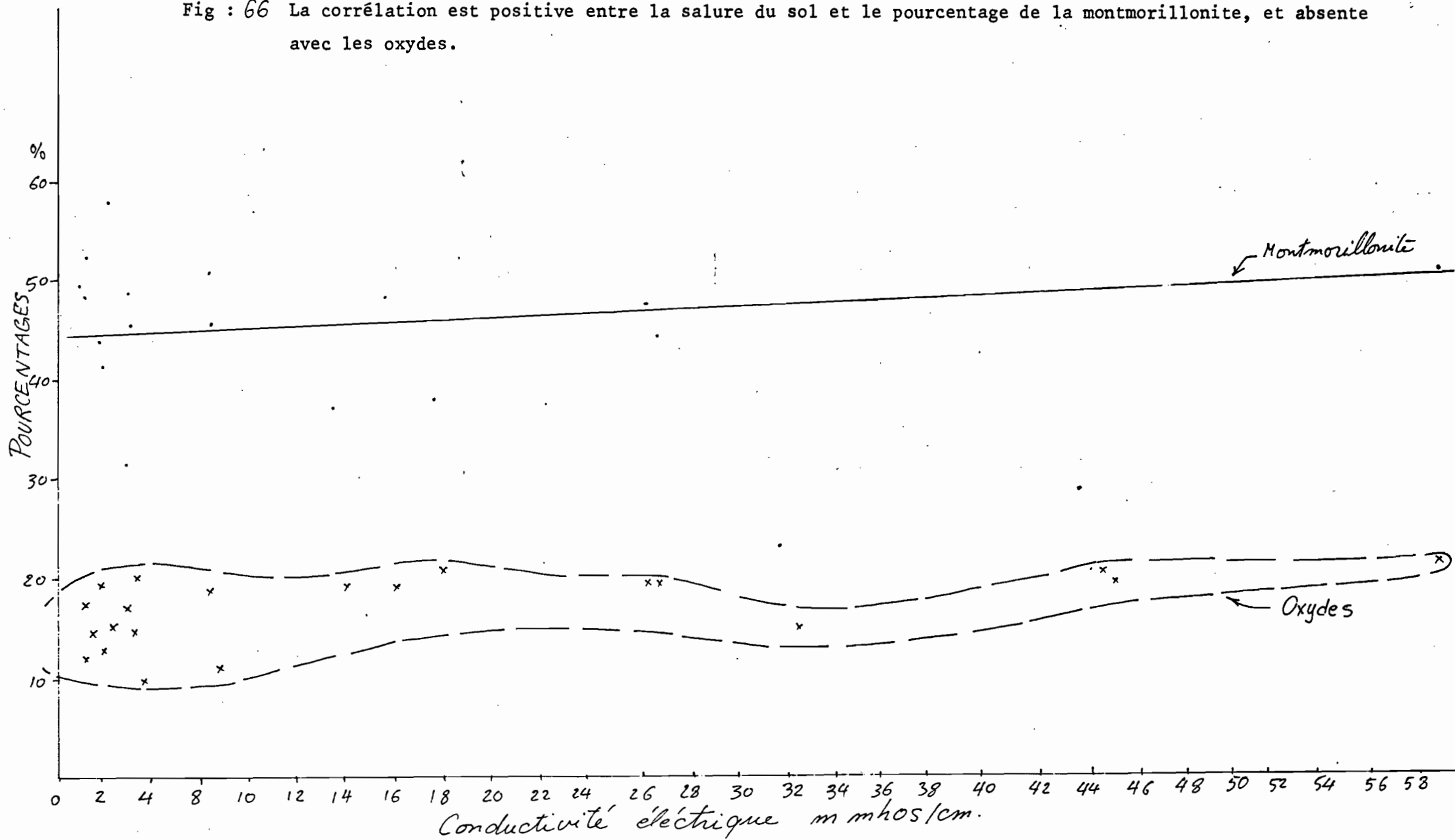


Fig : 67 La corrélation est négative entre le pourcentage d'illite et le pourcentage de la montmorillonite.

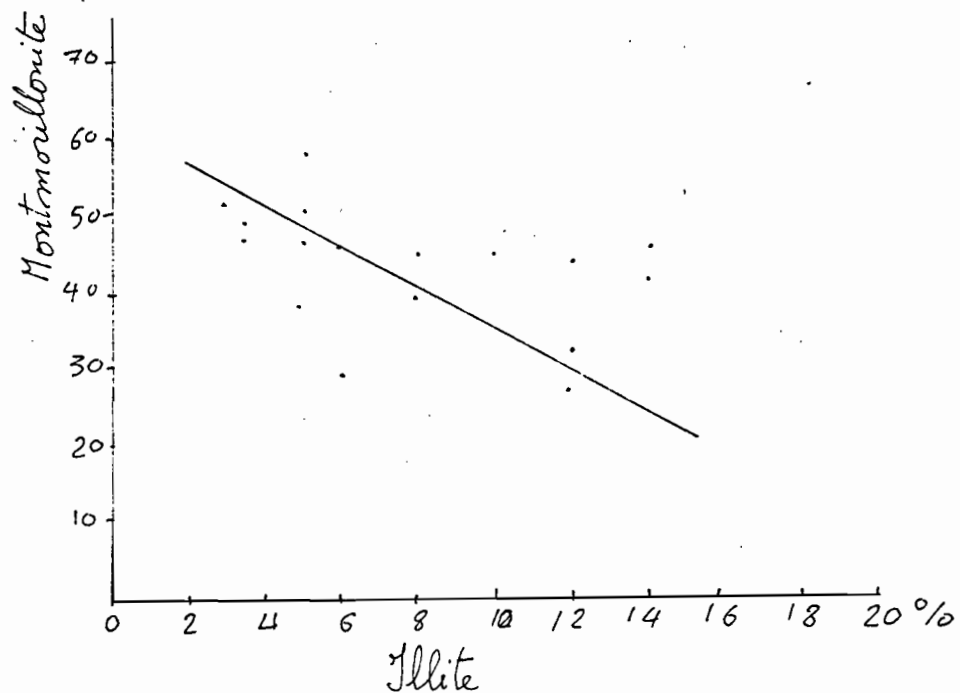
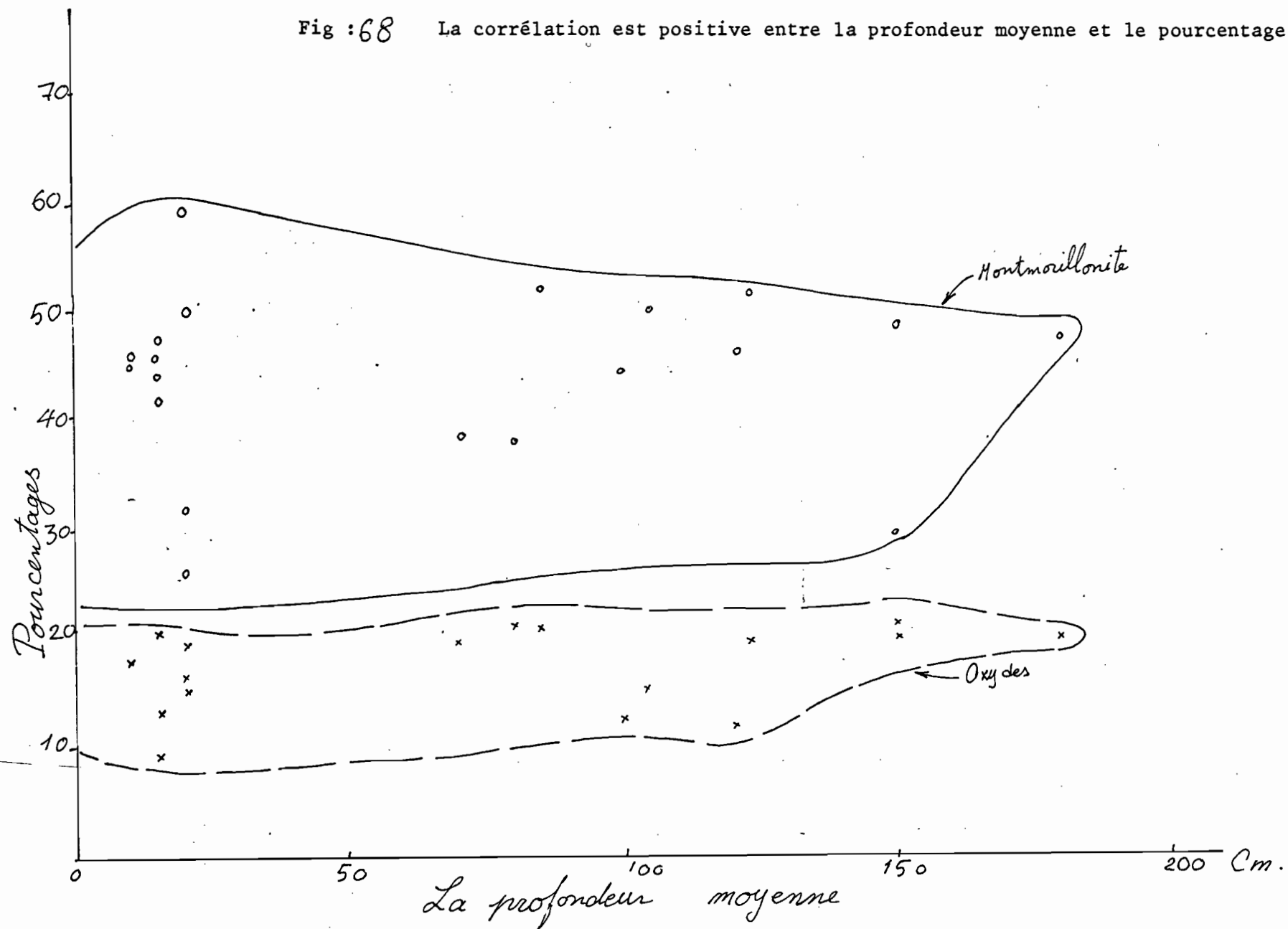


Fig : 68 La corrélation est positive entre la profondeur moyenne et le pourcentage de la montmorillonite.



Nous devons cependant signaler que nous avons trouvé une corrélation positive entre la richesse en oxydes libres et le pH ainsi que la proportion de sodium échangeable de ces échantillons (Fig. 65 a & b). L'alcalisation du sol aurait donc une certaine influence sur ce phénomène.

Par contre, la teneur en sels solubles ne présente pas de corrélation (Fig. 66 ).

Nous avons recherché les corrélations possibles entre ces caractères de salinisation et d'alcalinisation et la teneur en montmorillonite des échantillons.

Elle paraît très limitée (Fig 65,66 ). Par contre comme le montre la figure 67 , une certaine corrélation paraît exister, négative entre les teneurs en illite et en montmorillonite, ce qui pourrait faire envisager une certaine transformation de la première dans la seconde. Ce phénomène est plus net dans les échantillons de profondeur (Fig. 68) qui sont plus souvent soumis à un engorgement périodique par la nappe phréatique salée.

Enfin, la faible augmentation de teneur en montmorillonite en profondeur visible dans tous les profils sauf S1 (Tabl. 9), peut aussi être due à une migration mécanique de cette argile, souvent fortement saturée en sodium échangeable.

## II.6. - Classification.

Les sols du delta ont été prospectés en semi-détail, par l'équipe du "Soil Survey Division" à l'Institut de **Recherche** sur le Sol et l'eau du Centre de recherche agronomique. Ces études ont duré 10 ans (1958-1968). Quatre cartes (1/300 000) ont été établies en fonction des éléments suivants : profondeur de la nappe phréatique, degré de salure des horizons de surface de classement en 6 niveaux, de productivité.

Nous avons présenté dans la première partie, celle de la nappe phréatique, et dans la deuxième partie celle correspondant à la salure de surface.

Par ailleurs, à la même échelle, la carte des sols définis d'après leur origine géomorphologique et leurs caractères physiques a été réalisée. Il a été différencié (Fig. 62) :

### 1 - Sols sur alluvions récentes :

Ces sols représentent la majorité de la superficie du delta. Ils sont caractérisés par leur couleur, brun-foncé à très foncé et leur texture légère à argile lourde, avec des variations texturales à travers les profils. En général la teneur en argile augmente de 40% au Sud à 70% au Nord. Latéralement elle diminue dans les sols liés aux diverses branches du Nil, et augmente régulièrement en s'éloignant de leurs rives.

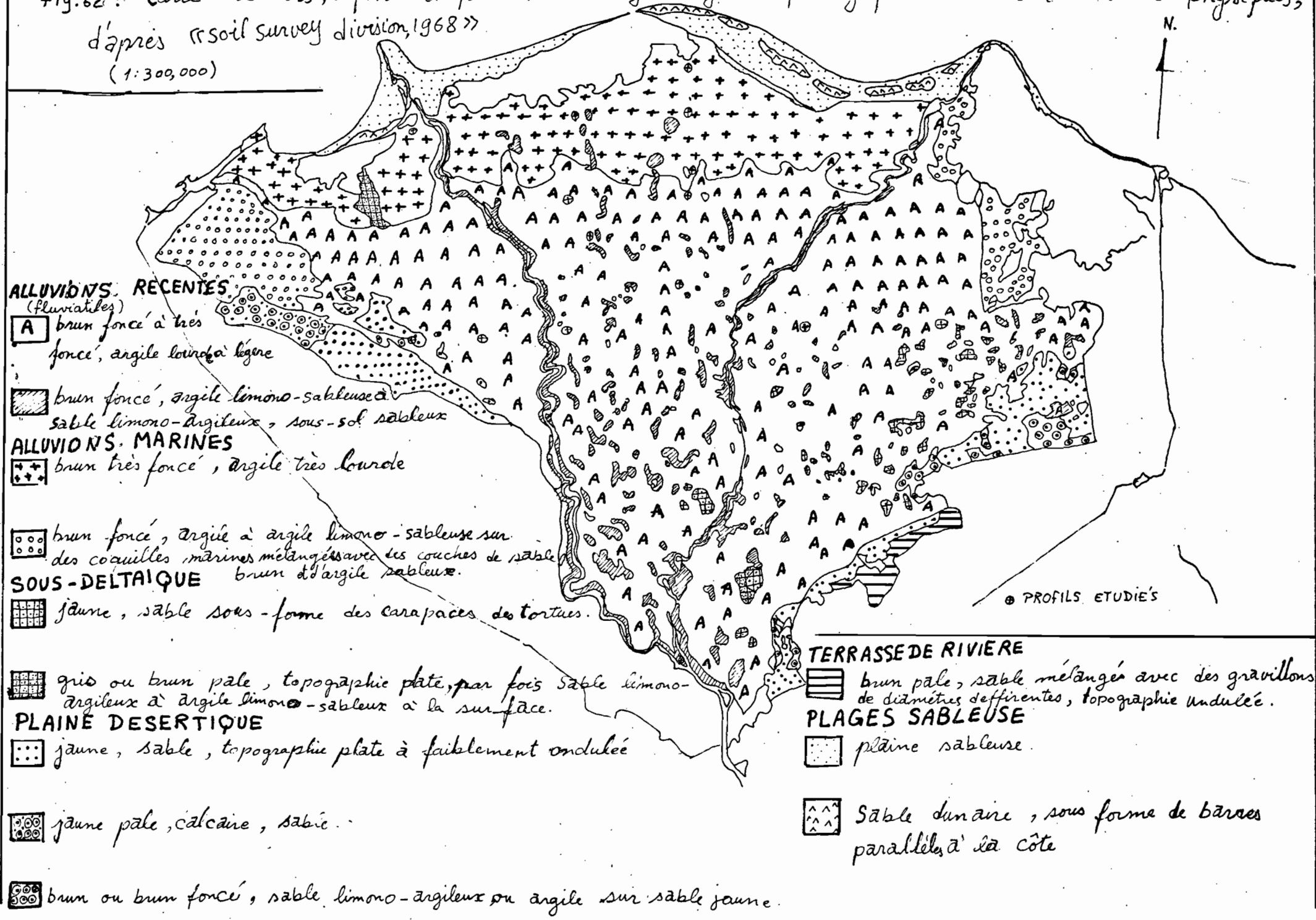
### 2 - Sols sur alluvions marines.

Sur la carte ont été séparées :

- 1 - Sol brun-foncé à très foncé, argile lourde à légère ;
- 2 - Sol brun-foncé, argile limono sableuse à sable limono-argileux, sous sol sableux.

Les sols de ce groupe occupent une superficie importante. Ils sont situés au Nord près de la côte et des lacs. Ils sont caractérisés par une texture argileuse, souvent d'argile lourde et les sédiments du Nil y sont mélangés avec les dépôts marins. La montmorillonite domine dans l'argile et provoque le gonflement quand le sol est humide et le durcissement quand il est sec. Les dépôts marins sont spécialement dominants dans le sous-sol près des lacs Manzala et Mariut. Les sols associés au lac Manzala présentent des couches de gypse cristallin ou

Fig. 62 : Carte des sols, définis d'après leur origine geomorphologique et leurs caractères physiques; d'après «soil survey division, 1968» (1:300,000)



**ALLUVIONS RÉCENTES**  
(Fluviales)

- A** brun foncé à très foncé, argile lourde à légère
- brun foncé, argile limono-sableuse à sable limono-argileux, sous-sol sableux

**ALLUVIONS MARINES**

- brun très foncé, argile très lourde
- brun foncé, argile à argile limono-sableuse sur des coquilles marines mélangées avec des couches de sable brun et d'argile sableuse.

**SOUS-DELTAÏQUE**

- jaune, sable sous-forme des carapaces de tortues.

- gris ou brun pâle, topographie plate, par fois sable limono-argileux à argile limono-sableux à la surface.

**PLAINE DÉSERTIQUE**

- jaune, sable, topographie plate à faiblement ondulée
- jaune pâle, calcaire, sabie.

- brun ou brun foncé, sable limono-argileux ou argile sur sable jaune.

**TERRASSE DE RIVIERE**

- brun pâle, sable mélangé avec des gravillons de diamètres différentes, topographie undulée.

**PLAGES SABLEUSE**

- plaine sableuse.
- Sable dunaire, sous forme de bancs parallèles à la côte

⊙ PROFILS ETUDIÉS

sous forme de concrétions. (Ab del-Aal, 1971). Les sols de Mariut ont des sous-sols d'origine marine, comportant des couches de coquilles mélangées de sables et d'argile brune.

Certains sols d'alluvions fluviales et la plupart de ceux d'alluvions marines sont caractérisés par la présence de taches de gley en sous-sol, liées à la nappe phréatique. La structure est prismatique ou massive, plus développée en profondeur. Les sols sont plus durs et fermes en profondeur à cause du fort pourcentage d'argile et de leur richesse en sels de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{++}$  surtout près de la nappe phréatique. Le calcaire total (1-3%) augmente avec la profondeur.

Sur la carte ont été différenciés :

- 1 - Sol brun très foncé, argile très lourde ;
- 2 - Sol brun foncé, argile à argile limono-sableuse sur des coquilles marines mélangées avec des couches de sable brun et argile sableuse.

### 3 - Sols des dépôts sous-deltaïques.

Ces sols existent en petites zones diffuses à l'Est et au Centre sud du delta. Ils ont la forme de "carapace de tortue". Ces sols sont constitués de sables grossiers jaunes. Les grains de sable ont une forme et un diamètre différents d'une place à l'autre ; certaines zones couvertes de ces sols ont été parfois cultivées. Cela a rendu les sols gris ou brun pâle, en raison de l'addition de matières en suspension dans l'eau d'irrigation. Ces zones ont été séparées sur la carte :

- 1 - Sol jaune, sable sous forme de carapaces de tortue ;
- 2 - Sol gris ou brun-pâle, topographie plate, parfois sable limono-argileux à argile limono-sableuse à la surface.

### 4 - Sols des plaines désertiques.

Ces sols représentent un stade intermédiaire entre les dépôts alluviaux et les dépôts désertiques proprement dits. La texture devient graduellement grossière à travers le profil et surtout à proximité du désert. Ces sols ont été classifiés en trois sous-unités, comme suit :

- a) - *Sols désertiques sableux jaunes* ; en topographie plate à faiblement ondulée. Ils paraissent avoir des caractères de loess mais avec peu de calcaire (< 0,5%) ;

- b) - *Sols désertiques, sablo-argilo-limoneux à argilo-limono-sableux en surface*, dûs à l'addition des éléments en suspension dans l'eau du Nil utilisée pour l'irrigation lors de plusieurs années de culture.
- c) - *Sols caractérisés par leur richesse en sable calcaire, jaune-pâle*, avec un fort pourcentage de calcaire qui par places atteint 40%.

#### 5. Sols des terrasses de rivière.

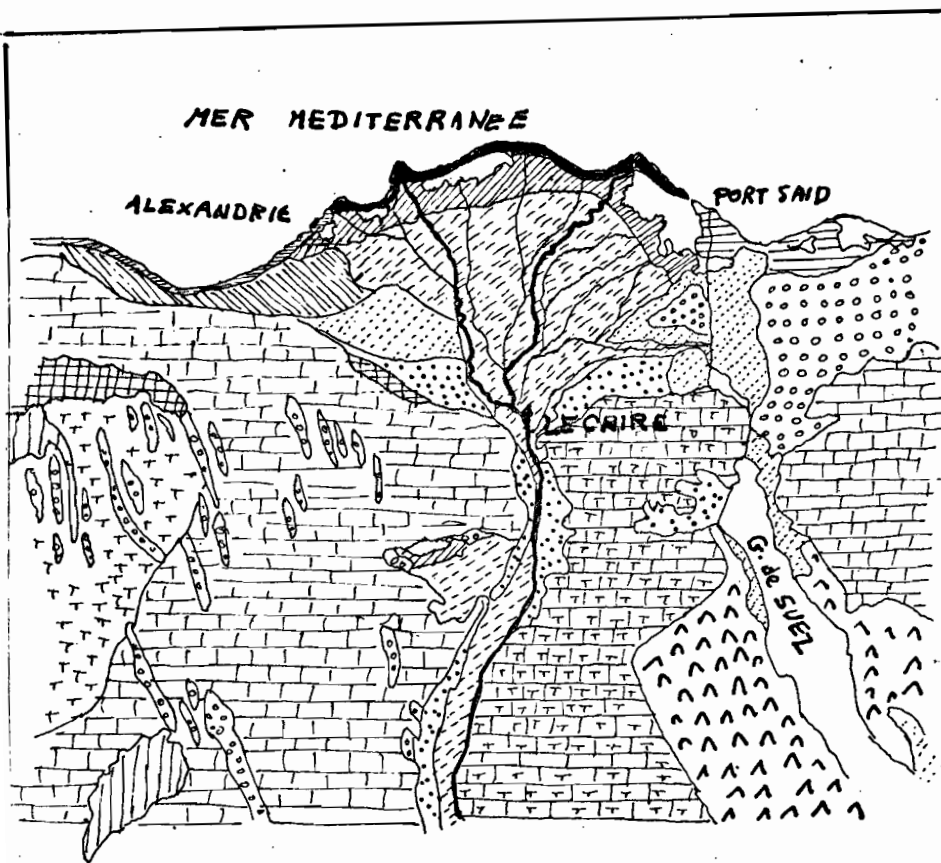
Ces sols ont une origine fluviale et sont à une altitude relativement élevée à plus de 30 mètres du niveau actuel du Nil ; leur topographie est plate ou ondulée ; ils sont de texture sablo-limono-argilo-graveleuse, particulièrement sableux fin à limoneux, riches en calcaire, et fortement affectés par le vent et l'érosion par l'eau.

#### 6. Les plages sableuses.

La plaine sableuse de la côte a une topographie plate, excepté dans la zone des dunes des plages. Ces sables dunaires sont sous forme de barrières allongées et diffuses parallèles à la côte.
















El Gabaly, Gewalfel, Hassan et Rozanov (1969), ont classifié les sols d'Egypte. En ce qui concerne les sols du delta et des régions voisines, la carte (Fig. 63 ) est présentée à une échelle de 1/1 000 000. Les sols deltaïques ont été classifiés dans la carte en trois unités principales :

- 1 - Au Nord : "Ergosols siliceux Semistabilisés" ; les sables siliceux dunaires sont semistabilisés à présent par une végétation naturelle ou d'origine anthropique. Ces formations sableuses dunaires ont une forme allongée et discontinue ; elles sont parallèles à la côte.
- 2 - "Solonchaks marécageux", "Solonchaks Humiques" et "Solonets Humiques" dessalés artificiellement par places. Ces sols ont une texture lourde ; ils sont mal drainés, avec dans leurs sous-sols des dépôts lacustres avec des coquilles lagunaires. Le niveau élevé de la nappe phréatique est responsable de la forte gleyisation et de la salinisation des sols. Généralement ces sols sont en train de se dessaliniser graduellement avec l'avancée de la côte et le retrait de la mer. Toutes les phases de ce processus peuvent être facilement observées sur les "Solonchaks marécageux" puis les "Solonchaks Humiques" les "Solonets Humiques" et enfin les "Sols à gley Humiques".



1:4000.000

Fig 63: Carte des sols, du delta et des regions voisines, d'après El Gabaly, Gewaifel, Hassan et Rozanov, (1969)

- 
 Roche calcaire  
 ERMOLITHOSOLS lithique,  
 et SOLONCHAKS Takyriques  
 et LITHOSOLS.
- 
 LITHOSOLS.
- 
 ERMOLITHOSOLS sur calcaire dur
- 
 ERMOLITHOSOLS sur calcaire dur,  
 SOLONCHAKS Takyriques
- 
 ERMOLITHOSOLS gravillonnaire.
- 
 REGOSOLS Eutrique
- 
 GLEYSOLS Anthropique.  
 et FLUVISOLS Anthropique  
 Eutrique.
- 
 SOLONCHAKS marécageux et  
 SOLONCHAKS Ochrique.
- 
 SOLONCHAKS Marécageux,  
 SOLONCHAKS Humique,  
 et SOLONETZS Humique,  
 particulièrement désalé
- 
 SALIPETROSOLS et  
 SOLONCHAKS Ochrique
- 
 SALIPETROSOLS,  
 SOLONCHAKS Ochrique et  
 ERGOSOLS Dynamique
- 
 ERGOSOLS Dynamique.
- 
 ERGOSOLS semistabilisé  
 Calcique.
- 
 ERMOSOLS
- 
 ERGOSOL Siliceux  
 semistabilisé

3 - "Sols à gley anthropiques" et "Fluvisols Eutriques Anthropiques" représentent la plus grande partie du delta. Ce sont les sols cultivés depuis l'ancienne civilisation égyptienne. Ces sols ont été modifiés par l'activité humaine.

Les sols ont une texture lourde. Le degré de gleyification varie suivant leur position dans le delta. Les sols salins au nord sont du type résiduel, et au sud du type secondaire et en taches diffuses dans la superficie du delta.

Le tableau suivant représente la corrélation entre les systèmes différents de classification et le système utilisé en Egypte en 1969.

Une classification plus détaillée des sols du Centre et du Sud du delta avait été présentée précédemment par Labib et Seliman (1967), (Fig. 64 ). Elle utilise comme éléments de base le mode de dépôt du matériau, les propriétés morphologiques, physiques et chimiques des sols, et en particulier leur degré de salure et la nature des sels solubles. Ils ont résumé leur classification comme suit :

Ordre : AZANAL

Groupe I : Sols sur alluvions du Nil (sols Fluviaux), divisés en :

Sous-groupe (1) : Sols non salés ; carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium sont dominants. Le nom de la série est Menouf.

Sous-groupe (2) : Sols légèrement salins (crypto-Solontchaks). Les sels dominants sont : sulfates de sodium, chlorures de sodium peut exister. Le nom de la série est Qualiub.

Sous-groupe (3) : Sols moyennement salés (Hypo-solontchaks). Le sel dominant est le chlorure de sodium, avec la possibilité de présence de sulfates de sodium. Ces sols tombent dans la série nommée Menia El-Qamh.

Sous-groupe (4) : Sols fortement salés (Hyper-Solontchaks) ; ces sols sont caractérisés par la dominance de chlorures et de sulfates de sodium et aussi par l'existence de cristaux de gypse. Ces sols sont classés dans la série nommée Manzala.

Unités proposées dans la carte d'Egypte 1/1 000 000	J.L.D'Hoore 1964 C C T T	G. Aubert 1966 (France)	7 <sup>th</sup> Approximation, 1966 (U.S.A.)	J.A.Stéphens 1962 (Australia)	J.P Gerasimov 1964 (U.S.S.S.R.)	J.S.Veennenbr et al. 1964 (FAO - UAR)
I-Fluvisols { Eutrique Anthropique	{ sols hydromorphes minéraux	{ Sols bruts d'apport fluvial	Fluents	Alluvial soils	{ Alluvial soils Irrigated soils	{ Alluvial soils
II- Gleysols Anthropiques	{ Sols hydromorphes	{ Sols hydromorphes Sol à gley de surface ou d'ensemble	Haplaquents	Meadow soils	{ Meadow soils Meadow black soils Irrigated soils	{ Hydromorphique soils
III- Solonetz Humique Solontchaks Humique Marshy	{ Sols halomorphes	{ Sols halomorphes Solonetz Sols salins	{ Natralbolls Natrrustolls Natriborals Natrargids Solorthic Haplustolls Saloirthids Salorthids	{ solonetz solonetz solonchak	{ solonetz solonchak  Tahyrs Salt marsh soils	saline soils   salt marsh soils

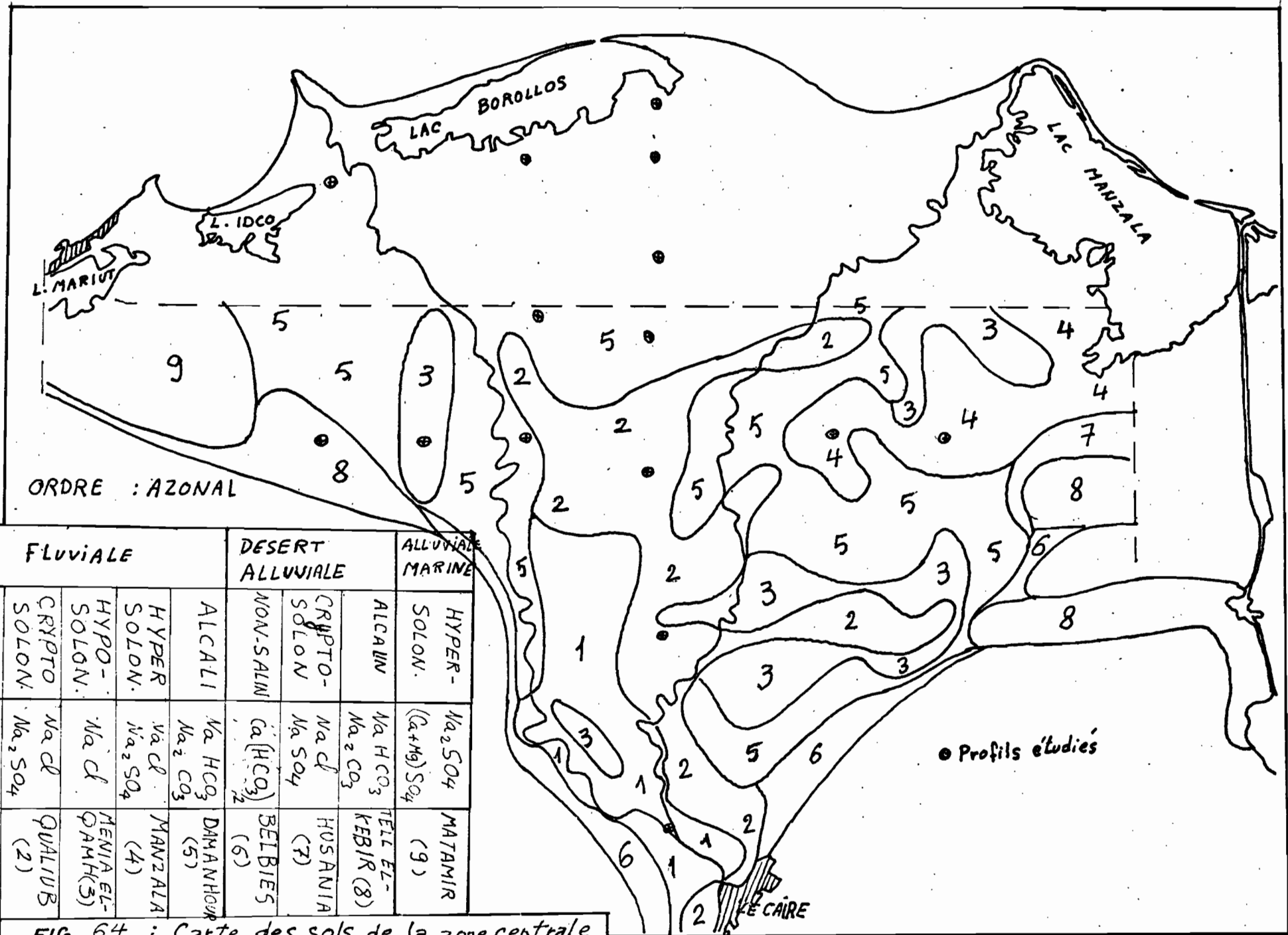


FIG. 64 : Carte des sols de la zone centrale et la zone Sud de delta, au niveau des séries, d'après Labib et Suliman (1967).

Sous-groupe (5) : Sols à alcali ; carbonates et bicarbonates de sodium dominant. Ils se trouvent dans la série nommée Damanhour.

Groupe II : Sols sur dépôts désertiques affectés par des alluvions du Nil (Sols mixtes, désertiques, alluviaux), divisés en :

Sous-groupe (6) : sols non salés ; les sels dominants sont les carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium. Ils se trouvent dans la série nommée Belbies.

Sous-groupe (7) : Sols légèrement salés (crypto solon) ; les sels dominants sont les chlorures et sulfates de sodium. Ils représentent une petite superficie à l'est de la région qui tombe dans la série de Husania.

Sous-groupe (8) : Sols alcalins ; ils sont caractérisés par la dominance de carbonates de sodium. Ces sols se trouvent dans la série nommée Tell El-Kébir.

Groupe III : Sols sur dépôts d'alluvions du Nil affectés par des dépôts marins (Sols fluvio-marins).

Sous-groupe (9) Sols fortement salés (Hyper-solon) ; ils sont caractérisés par la dominance de sulfates de calcium, de sodium et de magnésium, et par l'existence de carbonates de calcium en quantité importante. Ces sols sont présentés dans la série Matamir.

### Classification des profils étudiés.

Les études macro et micromorphologiques, chimiques, physiques et minéralogiques, réalisées sur les profils de la région deltaïque, nous ont permis de classer les sols suivant la classification française (Travaux C.P.C.S., 1967).

Nous proposons ce qui suit :

- Profil K<sub>1</sub> : *Sol peu évolué d'apport alluvial modal limoneux à faible tendance hydromorphe (45 - 75 cm).*

Cette tendance à l'hydromorphie est exprimée par les taches de pseudogley observées lors de l'analyse micromorphologique, mais non sur le terrain. Elles ne sont pas suffisantes pour que ce sol soit classé au sous-groupe hydromorphe plutôt que modal. Ce profil a été classé par EL GABALY et al., 1969, comme *Fluvisol Anthropique Eutrique* par LABIB et SULIMAN (1967) comme *Fluviatile non salin*, et par Soil Survey Division (1968) comme *Alluvial récent fluviatile*, brun foncé, argile limono-sableux, sous sol sableux.

La classification que nous proposons est en accord avec ces trois dernières.

- Profil K : *Sol salsodique salin*\* à surface friable, à nappe phréatique à 180 cm, à encroûtement gypseux, à profil salin descendant sur alluvions fluviatiles argileuses. Les taches gypseuses dues à l'hydromorphie apparaissent dès 115 cm sur le terrain. L'analyse micromorphologique indique des taches ferrugineuses de pseudogley dès 30 cm. On pourrait aussi au niveau du faciès faire intervenir le caractère vertique indiqué par quelques fentes de glissement à 1,15 mètre, d'autant que l'encroûtement gypseux y reste quand même, assez limité. La couche superficielle est contaminée par des grains de sable arrondis venant des "dos de tortue" par colluvionnement. Ce caractère n'est pas suffisant pour le mettre au niveau de famille, mais au niveau de série. Cette classification s'accorde dans le cas de ce profil avec celle de LABIB et SULIMAN (1967), car ils l'ont mis dans le groupe *Fluviatile*, sous-groupe *Crypto-Solonchak*, et famille  $NaCl$ ,  $Na_2SO_4$ . Elle ne s'accorde pas avec celle de la Soil Survey Division (1968), qui l'a classé dans les alluvions récentes fluviatiles, brun foncé à très foncé, argile lourde à légère, ni avec celle de EL GABALY et al. (1969), qui l'ont dénommé *Fluvisol Anthropique Eutrique*. Ces deux dernières classifications n'ont pas indiqué les caractères de salure, car la première est basée sur les caractères géomorphologique et textural et la deuxième est effectuée sur une échelle de 1/4.000.000 pas assez détaillée pour indiquer ce sol particulier.

\* Au niveau de la classe, nous utilisons le terme de *Salsodique* plutôt que *Sodique*, qui a été proposé par SERVANT (1975).

- Profil G : *Sol hydromorphe peu humifère* à gley de profondeur sur alluvions fluviatiles limono-argileuses à argileuses. Ce sol n'est pas, ou très peu salé. Il présente quelques petites fentes de glissement dans la couche la plus riche en argile, mais ce caractère paraît insuffisant pour être noté, même au niveau du faciès.

Le caractère hydromorphe déjà bien exprimé par l'horizon de gley à 150 cm, l'est aussi par la présence de nodules calcaires et d'oxyde de fer dès 35 cm (étude micromorphologique).

Cette classification est, généralement, en accord avec celle de EL GABALY et al. (1969) qui l'ont classé dans les *Gleysols Anthropiques*. Celle de la Soil Survey Division (1968) qui ne fait pas plus intervenir les caractères d'hydromorphie que ceux de salure, l'a mis dans les alluvions récentes fluviatiles, brun foncé, argile limono-sableuse à sous-sol sableux comme nous l'indiquons au niveau de la famille. LABIB et SULIMAN (1967) l'ont classé dans le sous-groupe *Crypto-Solonchak*, ce qui ne correspond pas au profil que nous avons étudié qui n'est que faiblement salé ; nous n'avons même pas pu prendre ce caractère en compte au niveau du sous-groupe.

- Profil S : *Sol hydromorphe peu humifère* à gley de profondeur, à faciès de faible salure et alcalisation, sur alluvions fluviatiles récentes, argileuses. La structure suffisamment affinée ne permet pas de la classer comme sol à alcali, malgré la réaction très basique (pH 9) qui doit être due à la richesse en magnésium échangeable. Cette classification est en accord avec celle de EL GABALY et al. (1969) qui l'ont placée dans les *Gleysols Anthropiques*, ainsi que partiellement avec celle de la Soil Survey Division (1968) qui l'a mis dans les alluvions récentes fluviatiles, sans cependant tenir compte du caractère hydromorphe.

Elle n'est pas en accord avec celle de LABIB et SULIMAN (1967) qui l'ont mis dans le sous-groupe de sol à alcali ( $\text{Na HCO}_3$  et  $\text{Na CO}_3$ ).

- Profil B : *Sol salsodique salin* à complexe sodique, à structure poudreuse en surface, hydromorphe, à profil salin ascendant, sur alluvions argileuses, mixtes, lacustres au-dessus de fluviatiles. Le profil est salin, mais non à alcali car, au-dessous de l'horizon poudreux de pseudo-sable, la structure est fragmentaire, nette, polyédrique subanguleuse, et se maintient ainsi jusqu'à la profondeur de la nappe phréatique (1,6 mètre). Cette classification s'accorde partiellement avec celle de la Soil Survey Division (1968) qui a classé ce sol dans les alluvions marines brun très foncé, argile très lourde. Elle se rapproche tout à fait de celle de EL GABALY et al. (1969) qui l'ont désignée comme *Solonchak* marécageux.

- Profil H : comme B.

- Profil B<sub>3</sub> : *Sol salsodique à alcali*, très salé, à structure non poudreuse en surface, à profil salin descendant, sous-groupe hydromorphe sur alluvions lacustres d'argile lourde riches en coquilles au-dessus d'un paléosol d'argile limoneuse très salé hydromorphe humifère. Le pH qui est de 9,3 en surface s'abaisse à 6,6 en profondeur (à 102 cm) où se trouve la nappe phréatique. Cette baisse est probablement due à la richesse en matière organique (5 p. cent) à ce niveau. La structure est massive, diffuse dès la surface jusqu'à cette profondeur. Cette classification semble en accord avec celle de EL GABALY et al. (1969) qui l'ont caractérisé comme *Solonetz Humique* partiellement désalé. Elle l'est moins avec celle de la Soil Survey Division (1968) qui l'a mis dans les alluvions marines, brun très foncé, d'argile très lourde ; cette dénomination me paraît insuffisante car elle n'a pas indiqué l'existence ni de la salure, ni des niveaux riches en coquilles ou matière organique à environ 1 mètre de profondeur.

- Profil B<sub>2</sub> : *Sol hydromorphe peu humifère* à remise en mouvement du calcaire, à faible encroustement calcaire, faciès de décarbonatation de surface sur plages sableuses. La nappe phréatique qui se trouve à 53 cm

de profondeur est pratiquement désalée (4 mmhos/cm) malgré l'existence du lac Borolos à 200 m au Sud du profil. Cela est probablement dû au drain principal qui a séparé ce sol du lac et qui a limité la contamination de l'eau de la nappe par l'eau salée du lac. Cette classification est partiellement en accord avec le principe de la carte établie par le Soil Survey Division (1968) qui l'a classé dans les plages et plaines sableuses ainsi que avec celui de la carte de EL GABALY et al. (1969) qui l'ont mis dans les *Ergosols Siliceux Semi Stabilisés*. Cependant, ces deux classifications n'indiquent pas le phénomène d'hydromorphie, pourtant si important ici.

- Profil F : *Sol Salsodique à alcali*, très salé, à structure poudreuse en surface, à profil de salure descendant, à faciès hydromorphe, à début d'encroûtement de calcaire, à carbonate de sodium, sur alluvions fluviales et colluvions calcaires, limon argileux sur argile puis sable argileux. D'après le Soil Survey Division (1968), ce profil se trouve dans les plaines désertiques à sables jaunes et de topographie plane à faiblement ondulée. Par ailleurs, EL GABALY et al., 1969, l'ont classé dans les *Regosols Eutriques*. Notre classification est partiellement en accord avec la première dénomination, mais pas avec la seconde. Elle est par contre en accord avec la carte réalisée par LABIB et SULIMAN (1967), qui indiquent à cet endroit un sol de désert alluvial, alcalin, ( $\text{Na HCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

- Profil E.B. : *Sol peu évolué d'apport fluviatile verticale*, faciès de faible salure et faible alcalisation sur alluvions argileuses.

Ce profil se trouve dans la carte de LABIB et SULIMAN (1967) dans le sous-groupe *Hyposolonchak* (NaCl), dans celle du Soil Survey Division, dans les alluvions récentes fluviales, brun foncé à très foncé, d'argile lourde à légère, et enfin dans celle de EL GABALY dans les *Fluvisols Anthropiques Eutriques*. Notre classification est tout à fait en accord avec le principe de ces deux dernières dénomination, mais moins avec la première, car la salure du profil n'est pas très élevée, même en profondeur.

- Profil B<sub>4</sub> : *Sol Salsodique*, à alcali, très salé, à structure friable, non poudreuse en surface, hydromorphe, à profil salin descendant à accumulation calcaire superficielle sur alluvions fluviales d'argile lourde

sur argile limoneuse. Cette classification s'accorde, en partie, avec la carte de la Soil Survey Division (1968), où ce sol est indiqué comme alluvion fluviatile récente, brun foncé à très foncé, sur argile lourde à légère ; mais pas avec celle de EL GABALY et al. (1969) qui ont classé ce sol dans les *Fluvisols Anthropiques Eutriques*.

Par ailleurs, LABIB et SULIMAN (1967) l'ont classé dans les sols fluviatiles à alcali ( $\text{Na HCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ; sur leur carte notre profil se trouve à la limite des zones occupées par ce sous-groupe et par le sous-groupe des sols *Crypto-solonchaks* ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) auquel, en fait, il correspond.

- Profil S<sub>1</sub> : *Sol peu évolué d'apport fluviatile*, faiblement salé et alcalisé, faciès verticale et hydromorphe, sur alluvions argileuses ; les faces de glissement sont visibles sur le terrain, mais de faible importance, et non visibles en micromorphologie.

Ce profil se trouve dans la carte de LABIB et SULIMAN (1967) dans la zone occupée par le sous-groupe des *Hyper-Solonchak* ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na SO}_4$ ). Dans la carte de la Soil Survey Division, il se trouve parmi les sols sur alluvions récentes fluviatiles, brun foncé à très foncé, d'argile lourde à légère. D'après EL GABALY, il s'agit d'un *Fluvisol, Anthropique, Eutrique*. Notre classification est en accord avec le principe des deux dernières qui, cependant, n'indiquent pas certains caractères importants ; elle est en désaccord avec celle de LABIB et SULIMAN.

- Profil G<sub>1</sub> : *Sol Salsodique*, à alcali, moyennement salé, à profil salin descendant, faciès verticale. Sa structure est très diffuse et massive en surface, quoique le pH reste autour de 8,5. Ce profil se trouve dans les trois classifications précédentes, dans les mêmes unités que le profil S<sub>1</sub>, ce qui n'est pas conforme à nos résultats.

- Profil Sn : *Sol Salsodique à alcali*, très salé, à surface friable non poudreuse, à profil salin descendant, sur apports argileux salés éoliens déposés en milieu lacustre au-dessus d'un sol enterré hydromorphe, moyennement organique.

Ce sol contient du gypse, visible même sur le terrain, dans les horizons supérieurs, mais qui est probablement allogène, apporté par l'homme et ajouté au sol comme amendement.

Dans la carte de la Soil Survey Division ce profil se trouve compris dans la zone correspondant aux alluvions marines, brun très foncé, d'argile très lourde. Par ailleurs, EL GABALY et al. ont classé les sols de cette région dans les *Solonetz Humiques* partiellement désalés. Notre classification est en accord avec cette dernière, et, partiellement, avec la précédente.

- Profil B<sub>1</sub> : *Sol Salsodique*, salin à complexe sodique moyennement salé, à profil salin descendant, faciès hydromorphe sur alluvions mixtes, lacustres et fluviatiles, mais de texture très variable. Il n'est pas à alcali car la structure n'est pas diffuse, mais fragmentaire très nette, même en profondeur. Il est partiellement lixivé en surface, probablement à cause de la présence de coquilles qui facilitent son drainage.

Notre classification de ce profil n'est pas en accord avec celle de la Soil Survey Division qui le classe dans les alluvions marines brun très foncé, d'argile très lourde ; mais elle est assez voisine de celle proposée pour cette zone par EL GABALY et al. qui le classent dans les *Solonetz Humiques* partiellement désalés.

- Profil Ks : *Sol Salsodique* salin à complexe sodique, moyennement salé, à profil salin ascendant, à surface friable non poudreuse, hydromorphe, sur alluvions fluviatiles argileuses. Sa structure est fragmentaire et nette dès la surface. Cette classification n'est pas en accord avec celle de LABIB et SULIMAN (1967), car ce profil se trouve dans l'unité des sols fluviatiles à alcali à  $\text{Na HCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Il devrait être dans l'unité voisine des sols fluviatiles, crypto-solonchaks, à  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (fig. 64).

La carte des sols établie par la Soil Survey Division est en accord avec notre classification, car ce profil se trouve dans l'unité des sols sur alluvions récentes fluviatiles, brun foncé à très foncé, d'argile lourde à légère.

La classification réalisée par EL GABALY est différente de la notre, puisque ce sol a été mis dans les *Fluvisols Anthropiques Eutriques*.

Dans l'ensemble, les dénominations des profils étudiés sont souvent assez proches dans les légendes de cartes et classifications comparées, les divergences pouvant être dues, dans bien des cas, à un manque de précision des cartes, à échelle trop petite. La classification que nous avons utilisée nous paraît en général mieux caractériser les divers sols et en donner davantage de renseignements importants.

TROISIEME PARTIE

---

INTERPRETATION ET CONCLUSIONS.

### III. INTERPRÉTATION ET CONCLUSIONS.

L'interprétation des résultats des observations et des analyses effectuées sur les sols étudiés porte sur les caractères sédimentologiques comme pédologiques de la formation et de l'évolution des sols du delta.

Nous traitons ici ces deux aspects essentiels. Nous avons essayé ensuite de tirer de nos études des conclusions pratiques sur l'utilisation agricole de ces sols.

#### A. Formation des matériaux.

Les résultats des analyses granulométriques et leurs explications (Chapitre II.3) nous ont déjà permis de proposer quatre types différents de mode d'apport et de formation des dépôts ainsi que les types de remaniements qui ont pu modifier certains sols.

Dans cette région du delta, les formations peuvent avoir les origines suivantes :

##### 1. Formations d'apport fluvial (du Nil).

Les matériaux de ces formations ont été transportés par le Nil et déposés pendant la crue de chaque année.

En général, la texture des dépôts fluviaux varie selon leur vitesse de transport par l'eau. A la pointe du delta la vitesse est relativement plus forte, et, par conséquent, le limon et le sable se déposent (Profil K<sub>1</sub>). Plus au Nord la vitesse diminue et les matériaux plus fins dominent (Profils K<sub>s</sub> et S). En outre, pas en chaque point mais d'une façon assez générale, et surtout dans le Centre et le Nord du Delta, les couches inférieures de ces formations deltaïques - mais qui en sont cependant les moins récentes - ont la texture la plus grossière, du type sable à limon sableux, et les couches supérieures jusqu'aux plus actuelles, sont les plus fines, souvent constituées d'argile lourde.

Si on examine plus en détail la répartition des granulométries de ces couches, d'autres faits apparaissent.

La texture des dépôts successifs dépend de la distance entre les branches principales du Nil et de la position des profils par rapport à celles-ci. Elle peut être très variable d'un profil à l'autre en fonction de cette distance. L'hétérogénéité des profils dépend des modifications qui peuvent se produire, dus aux changements de position des branches du Nil au

cours des temps. Les profils K, S<sub>1</sub> et G<sub>1</sub> n'ont pas subi l'effet de telles modifications. Leur texture est d'argile lourde, homogène jusqu'à 4 mètres de profondeur.

Au Nord, l'hétérogénéité des profils devient plus fréquente en particulier dans le cas où le profil est souvent beaucoup plus loin de la branche actuelle. Cette hétérogénéité peut être due à la disparition des anciennes branches qui y existaient et dont les dépôts qui s'y formaient étaient relativement grossiers. Les matériaux des profils qui sont dans ce cas ont des textures variant verticalement entre argile lourde et sable limoneux jusqu'à 4 mètres de profondeur. Les profils E.B., G, S et Ks se trouvent dans ces conditions.

Par ailleurs les sols sont plus ou moins hétérogènes à cause, aussi, des déplacements des méandres du fleuve et des variations d'étendue des "lacs coupés", plus ou moins anciens, des branches principales du Nil, surtout dans les zones situées près d'une de ses branches. Les dépôts sont relativement plus fins quand les méandres sont loin et le contraire quand ils sont proches. La distance par rapport à ces éléments du réseau hydrographique peut faire varier la texture des couches d'argile lourde à limon plus ou moins sableux. Les profils G et B<sub>4</sub> en sont de bons exemples.

Normalement la position de la pointe du delta n'est pas stable. Elle recule progressivement vers le Sud. Comme ailleurs, les caractéristiques granulométriques des dépôts qui s'y constituent dépendent de la vitesse et de la charge du Nil pendant la crue, mais leur texture varie généralement entre sable et limon sableux (profil K<sub>1</sub>).

Certains matériaux d'origine fluviale se sont déposés en milieu lacustre. Les couches correspondantes présentent des éléments caractéristiques tels que des coquilles lacustres. Ces lacs ont été de superficies très variables au cours des temps.

Les modifications de couches d'apport fluviale à couches de dépôts lacustres sont très visibles. Leur texture varie souvent entre argile lourde et limon argileux, comme c'est le cas pour le profil B<sub>1</sub> entre le lac Borolos et la branche Rosetta. Plus au Sud, les dépôts lacustres d'argile lourde, relativement plus anciens et plus épais, recouvrent des formations fluviales constituées de couches de texture variant entre argile et sable argileux. Ces dépôts fluviaux représentent en effet d'anciennes branches du Nil qui n'existent plus actuellement. Les profils H et B sont des exemples de ces modes de formation.

## 2. Formations dues à des apports marins.

Au Nord du lac Borolos, un cordon de plages et de plaines sableuses est constitué de dépôts d'origine marine. La texture de cette formation est sableuse, homogène à travers l'ensemble du profil (profil B<sub>2</sub>). Une stratification entrecroisée n'y a pas été observée, mais leur position et les résultats des analyses statistiques montrent que ces formations sableuses ne peuvent être que d'origine marine.

## 3. Formations d'apport éolien.

Dans la zone Sud du lac Borolos se trouvent des dunes d'argile lourde formées de pseudosable d'origine éolienne. Ces dunes ont envahi des surfaces de niveau plus bas et qui, suivant les époques, étaient marécageuses ou sèches. Ce phénomène s'observe clairement dans la zone du Shalma (profil Sn).

Par ailleurs, à la pointe du delta, le changement de la position de cette pointe a permis le dépôt d'une formation éolienne (loess) de 45 cm d'épaisseur dans le profil K<sub>1</sub>. Cette couche se trouve entre deux autres d'apport fluvial, la supérieure de 75 cm d'épaisseur et l'inférieure, d'au moins 2,2 mètres (niveau actuel de la nappe phréatique).

Au Nord du delta dans les zones centrales et au Sud des lacs salés, des dépôts d'argile lourde d'origine éolienne (pseudosable) se sont formés dans un milieu lacustre. Elles contiennent alors des coquilles lacustres. Elles reposent à une grande profondeur sur des dépôts limoneux à sableux fluviaux plus anciens. L'épaisseur de ces dépôts lacustres diminue plus au Sud. Les caractères de la couche fluviale inférieure dépendent de la position des anciennes branches du fleuve à l'époque de sa formation. Entre ces deux dépôts principaux, existent par places des couches riches en matière organique relativement peu décomposée, atteignant parfois 17 % du matériau comme dans le profil Sh à 3 m de profondeur et 5 % comme dans le profil B<sub>3</sub> à 1 m seulement de la surface.

## 4. Formations constituées de dépôts d'apport colluvial.

Dans les zones deltaïques bordées par le plateau désertique calcaire, les dépôts d'origine deltaïque, sont interstratifiés avec des matériaux provenant de la zone désertique et apportés par colluvionnement. La texture de ces couches varie entre argile lourde et sable et leur épaisseur est également très variable. Le profil F est situé dans cette zone.

### 5. Remaniements des formations originelles.

Dans quelques zones de la région deltaïque, les formations d'apport fluviatile ou lacustre, ont parfois subi des remaniements dus à l'action de divers facteurs, en particulier à des variations de l'environnement.

Au Centre-Sud du delta, se trouvent des îlots de sable d'environ 8 à 10 m de hauteur dits "*carapaces de tortues*", formés de sable grossier jaune bien arrondi, correspondant aux dépôts sous-deltaïques anciens (10.000 ans). Les sols autour d'eux sont formés sur des dépôts fluviatiles d'argile lourde, homogène. La couche superficielle en est contaminée par des grains de sable transportés par colluvionnement à partir de l'îlot de sable voisin. La couche supérieure du profil K, qui se trouve dans cette zone, correspond bien au développement de ce phénomène. Dans une autre zone, plus au Nord, les dépôts fluviatiles sont mêlés avec des éléments de sable fin et de limon d'origine éolienne (loess) transportés par le vent du Nord à partir des dunes sableuses situées au Nord du lac Idco. La couche superficielle du profil B<sub>1</sub>, en est un exemple typique.

Actuellement l'homme est un des facteurs importants de modification des formations antérieures. Son influence se manifeste dans l'utilisation et l'aménagement physique du sol, la construction de barrages et l'installation de canaux. Ces modifications affectent souvent, essentiellement les couches superficielles des dépôts. Un matériau hétérogène constitué d'éléments de deux textures nettement différentes s'y forme, dû à l'eau d'irrigation chargée d'éléments plus fins par rapport à ceux de la couche déposée précédemment. Le courant du Nil devient plus lent à cause des barrages construits au long du fleuve et de ses branches ; la charge du Nil pendant la crue ne contient plus de sable ni de limon. Les profils K<sub>1</sub> et G sont deux exemples typiques de ce phénomène, comme nous l'a montré l'étude micromorphologique de leurs couches superficielles.

### B. Formation des sols (Pédogenèse actuelle).

L'étude des observations macro et micromorphologiques et des résultats des analyses minéralogiques et chimiques des échantillons des 16 profils, nous a permis de souligner l'importance de la nappe phréatique et des sels qu'elle contient, dans la formation des sols de la région deltaïque.

### 1. Actions d'hydromorphie dues à la nappe phréatique.

Dans la région deltaïque la nappe phréatique joue le rôle essentiel dans la formation des sols hydromorphes. Son niveau dépend de différents facteurs tels que la distance de la mer, des lacs, des canaux et des barrages ainsi que de la présence et de la forme de couches superficielles d'argile lourde très faiblement poreuses ... etc... Il se trouve en général entre 0 et 2 mètres de profondeur, sauf en quelques cas où il est actuellement descendu jusqu'à 4 mètres de profondeur.

L'action de la nappe phréatique se manifeste dans les taches de gley et de pseudogley plus ou moins anciennes, ainsi que dans certains traits pédologiques tel que nodules et cutanes calcaires ferrugineux, encroûtement de gypse ... etc, qui ont été indiqués au cours des observations macro et micromorphologiques dans la plupart des profils.

Dans la zone proche de la mer et des lacs, les couches supérieures ont souvent une texture d'argile lourde. Les sols sont généralement engorgés par l'eau salée due à la nappe phréatique qui se trouve souvent à moins de 1,6 mètre de profondeur. Les conditions d'anaérobiose s'y manifestent aussi davantage à cause de la texture d'argile lourde des matériaux et de leur structure massive. La dominance des minéraux gonflants (montmorillonite et vermiculite) chargés de sodium et de magnésium, joue également un rôle important dans ce phénomène d'une part par suite de l'absorption de grandes quantités d'eau et, d'autre part, par suite du gonflement du matériau qui diminue sa perméabilité déjà très faible. La formation des taches de pseudogley se produit souvent dans les limites des variations périodiques de la nappe phréatique, mais celles de gley se trouvent plus en profondeur. Des nodules calcaires et d'autres ferrugineux, se sont formés dès la surface par suite des conditions d'hydromorphie qui dominent encore dans certaines régions du delta, comme autour des profils B<sub>1</sub>, Sh, B et H situés dans la zone Nord où la nappe est proche de la surface. Dans le profil B<sub>3</sub> les mêmes éléments s'observent à faible profondeur, mais la nappe s'y trouve à plus de 4 m par suite de l'action d'un drainage très profond creusé récemment.

L'action de la nappe phréatique se manifeste même dans la zone de plage sableuse au Nord du lac Borolos sous forme d'une accumulation calcaire enrobant les grains de sable de la couche liée à la nappe phréatique. Ce phénomène s'observe nettement dans le profil B<sub>2</sub>.

Dans le Centre et le Sud du delta, les phénomènes d'hydromorphie se manifestent souvent sous forme de nodules calcaires ou ferrugineux, même dès la surface, mais aussi, parfois, par des taches de pseudogley plus ou moins anciennes et d'autres gley en profondeur. Les profils EB, Ks, B<sub>4</sub>, S<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, G et S se trouvent dans ces conditions.

Par ce même processus hydromorphe, des encroûtements microcristallins de gypse se forment quelquefois juste au-dessus de la nappe phréatique (profil K).

Dans la région désertique calcaire en bordure du delta, des encroûtements calcaires s'observent, juste au-dessus de la nappe phréatique encore très élevée, ainsi que des formations de pseudogley liée à son niveau et des formations de gley plus en profondeur, surtout dans les niveaux non ou peu calcaires (profil F).

## 2. Action des sels.

### a - formation des sels.

L'action des sels sur les sols du delta dépend du niveau de stabilité et de salinité de la nappe phréatique, ainsi que de la distance de la mer et du lac salé. Elle dépend aussi de la distance des canaux et des branches principales du Nil, de l'épaisseur de la couche argileuse superficielle, de la présence des couches sableuses en profondeur et enfin de l'utilisation du sol.

Dans le Nord, dans la zone du lac Borolos, la couche superficielle compacte d'argile lourde épaisse, souvent engorgée par l'eau, repose sur une autre beaucoup plus légère. Dans cette zone la salure des sols est du type primaire, principalement d'origine marine. Le chlorure de sodium y domine. Elle est très largement due à celle des lacs et des marécages salés. Les terrains sont fortement salés et les profils salins y sont, naturellement, de type ascendant. Ils peuvent devenir de type descendant, par suite de l'action de l'homme qui améliore le sol au moins partiellement, par lessivage et drainage.

Les profils B<sub>3</sub>, Sn, H, B<sub>1</sub>, G<sub>1</sub> sont de type descendant, tout en restant plus ou moins salés en surface.

Dans la même zone, quoique plus au Sud, le profil B est du type ascendant, car sur la surface on observe un niveau d'accumulation des sels dû à une mauvaise utilisation par l'homme. Des quantités importantes de

sulfate de calcium peuvent y exister, elles sont dues au gypse apporté pour améliorer le sol. La couche riche en sulfates est superficielle dans les sols aménagés récemment par lessivage et amendement (profils Sh et H). Elle est plus profonde dans le cas où le sol est utilisé depuis plus longtemps (profils B<sub>3</sub>, B, B<sub>1</sub> et G<sub>1</sub>).

Les couches de coquilles qui existent près de la surface, entre les couches imperméables, d'argile lourde, jouent un rôle de drain souterrain et facilitent le lessivage et l'élimination relative des sels solubles de la zone superficielle (profils B<sub>3</sub> et B<sub>1</sub>).

Au Centre et au Sud du delta, les sels solubles sont pratiquement plus ou moins éliminés des sols par suite de leur utilisation sous un système convenable d'irrigation et de drainage (profils K<sub>1</sub>, Ks, S<sub>1</sub>, S, G et EB.).

Dans la même zone existent par places des sols à salure secondaire. Cette salure secondaire est souvent due à la négligence de l'homme par suite de la pratique d'un système de drainage non adapté et inefficace ou par le gaspillage de l'eau d'irrigation et même, parfois, d'engrais salins (profils K et B<sub>4</sub>). Dans les zones liées aux canaux d'irrigation ou aux branches principales du Nil dans le cas où le niveau de l'eau du Nil est beaucoup plus élevé que le niveau du sol, la nappe phréatique remonte et provoque la salinisation des horizons superficiels. Ce phénomène se produit par suite du mouvement latéral de l'eau du Nil à travers les couches limoneuses qui existent sous les argiles lourdes de surface (profil B<sub>4</sub>).

Dans la dépression entre le plateau désertique et le delta proprement dit, une forte accumulation de sels solubles très riches en carbonates et bicarbonates de sodium s'est développée. Les sols y sont à alcali et comportent des efflorescences de sels alcalins de sodium mais non de salant noir. Cette salure est due à l'action d'une nappe phréatique salée (7,8 mmhos/cm) et très alcaline (pH > 9,5), qui se trouve tout près de la surface (50 cm au profil F). Cette nappe n'est pas d'origine marine mais paraît alimentée par l'eau du Nil, par suite d'une circulation latérale à partir du fleuve.

### 3. Action des sels sur les sols.

Les sels solubles ont des influences chimiques et physiques directes ou indirectes plus ou moins fortes sur le sol.

a - Influence des sels sur les propriétés physiques du sol.

Les propriétés physiques du sol telles que la structure et la compacité, la perméabilité ... dépendent de la salinité et du cation dominant sur le complexe absorbant. La dispersion de l'argile et la formation d'une structure poudreuse de pseudosable sur la surface et lamellaire juste en dessous, se produisent à cause de la forte accumulation des sels solubles, même neutres comme  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (profil H et B) en même temps que de sodium en quantité importante sur le complexe absorbant. Dans la région désertique du delta où les sels solubles dominant à la surface sont les carbonates et les bicarbonates de sodium, la forte concentration de ces sels a causé la destruction de la structure de la couche superficielle et la formation de la structure poudreuse en surface (profil F). La présence en quantité importante de carbonates de sodium aggravent les mauvaises propriétés physiques du sol, et, en particulier, diminuent sa perméabilité et sa porosité comme nous l'avons observé dans l'étude micromorphologique du profil F.

La structure des horizons de la surface est en général grumeleuse ou polyédrique anguleuse ou subanguleuse nette dans les cas où le complexe absorbant du sol est riche en calcium. Elle devient peu nette à massive et compacte quand il est saturé en sodium ou en magnésium ou les deux ensemble. Cette dégradation de la structure se produit aussi dans le cas où le sol a été traité et irrigué largement plusieurs fois pour en éliminer les sels en excès sans utiliser le gypse pour améliorer le complexe. Un mauvais drainage y contribue aussi.

Ces différences de caractères structuraux sont la base de la séparation entre Sols Salins, dont la structure reste fragmentaire nette et sols à alcali présentant une structure dégradée, diffusé.

Par ailleurs, dans les sols à alcali à argile dispersée, une certaine migration de celle-ci peut se produire mais sur de courtes distances dans le sommet du profil (profil B).

b - Influence sur le complexe absorbant.

La réaction des sols plus ou moins salés soit au Nord ou au Sud dépendent des cations échangeables qui saturent le complexe du sol, ainsi que de la nature des sels contenus. En général, le pH se trouve entre 8 et 8,6 dans les sols à calcium abondant sur le complexe absorbant (profils H, B<sub>4</sub>, G<sub>1</sub>, G et B). Il est entre 8,7 et 9,3 dans le cas où le complexe du sol est saturé en sodium ou en magnésium ou les deux ensemble.

Les profils E.B., B<sub>3</sub> (sous sol), Ks (sous sol), S<sub>1</sub> et S correspondent à ce type de conditions. Enfin le pH arrive à 10-11 dans le cas où les carbonates et les bicarbonates de sodium sont dominants en même temps que le complexe absorbant est saturé en sodium. Le profil F indique ces conditions.

c - Influence sur les propriétés chimiques.

Nous signalons sans insister, car n'ayant pu étudier cet aspect, qu'il y a un effet de la salure et de l'alcalinité du sol sur ses propriétés chimiques. Il se manifeste dans le déséquilibre des cations dû au sodium et au magnésium qui y dominent et rend le potassium moins facilement valable pour les plantes.

La salure a une action aussi sur la vie microbienne car les hautes concentrations de sels solubles empêchent le développement de la plupart des microorganismes.

d - Influence sur les minéraux argileux.

L'action chimique des sels solubles et de l'alcalinité sur les minéraux argileux du sol se manifeste en général par la dégradation de la cristallisation de l'argile et même par l'hydrolyse des micas et de l'illite vers la montmorillonite et la formation de produits amorphes et la libération des oxydes de fer, de silice ... etc.

D'après nos observations, il apparaît que la modification des minéraux argileux du sol est plus influencée par le développement de son alcalinité ou l'enrichissement de son complexe en sodium échangeable que par celui de sa salinité.

Les transformations dues à la seule salinité apparaissent faibles dans les sols que nous avons étudiés.

Dans les sols faiblement salés non à alcali, mais alcalins en profondeur, malgré une texture constante, la montmorillonite augmente relativement en profondeur, alors que l'illite diminue. Cela peut correspondre à une certaine hydrolyse de l'illite dans la couche alcaline et dont le complexe est riche en sodium et en magnésium. En même temps les oxydes libres y augmentent relativement (profils S, Ks, G<sub>1</sub> et B<sub>4</sub>). Cette transformation de l'illite peut s'observer aussi parfois à la surface dans le cas où la couche superficielle est plus riche en sels solubles et surtout plus alcaline et à teneur plus élevée en Na et Mg échangeables, par rapport à celle de profondeur (profil S<sub>1</sub>).

Même lorsque le sol est peu alcalin (pH voisin de 8), la transformation de l'illite peut apparaître dans les horizons très salés, soit en surface (profils Sh et B) soit en profondeur (profils H et B<sub>3</sub>), mais elle s'y montre faible.

Dans les sols jeunes qui occupent les horizons superficiels des dépôts du delta du Nil, les processus pédogénétiques que nous venons de décrire sont pratiquement les seuls que nous ayons pu déceler.

Même en profondeur les paléosols tels que ceux que nous avons indiqués (profils Sh et B<sub>3</sub>) sont rares, le dépôt des sédiments s'étant en général poursuivi progressivement et sans longue interruption, et, par ailleurs, depuis 5.000 ans, l'homme n'a cessé de modifier la surface des dépôts et la dynamique de l'eau qui pouvait s'y développer.

### C. Utilisation agricole du sol.

Les sols salins et à alcali contiennent des quantités excessives de sels solubles ou de sodium échangeable ou les deux ensemble ; et cela limite la croissance des plantes et abaisse le revenu agricole. Par conséquent, l'aménagement de ces sols exige l'élimination des sels par lessivage et le remplacement du sodium échangeable par un autre cation, flocculant, en pratique par le calcium.

L'aménagement du sol doit être basé sur les informations chimiques et physiques et sur la connaissance de l'origine de la salure et de l'alcalisation des sols. Ces caractères peuvent être primaires ou correspondre à des transformations du sol par l'homme ou sous l'action de divers facteurs ; ils sont alors dits "*secondaires*".

D'une façon générale, l'aménagement de ces sols dépend de chaque cas particulier et des conditions de son environnement. Il nécessite les opérations générales suivantes :

- 1 - Baisser la nappe phréatique en dessous du niveau critique défini par les pédologues Soviétiques (V. KOVDA). Il dépend de la concentration des sels dans la nappe et nous pensons qu'il devrait aussi varier en fonction de la texture du matériau.

2 - Diminuer les fortes concentrations de sels dans le profil jusqu'à un degré acceptable pour les plantes au moins dans la zone d'activité du système racinaire.

3 - Neutraliser les carbonates de sodium, s'il y en a, et diminuer le sodium échangeable dans les sols à alcali par des amendements calciques ; limiter les conditions qui favorisent l'alcalisation.

4 - Eliminer l'action des conditions naturelles qui causent la salure du sol comme :

a - réduire l'alimentation des nappes par circulation latérale d'eaux à partir des lacs, des marécages ou des canaux voisins à niveau plus élevé en les séparant des zones de culture par des drains profonds.

b - Séparer le sol des sols voisins plus élevés pour éviter l'écoulement superficiel de l'eau et la formation de zones basses engorgées qui se salent rapidement.

c - Aplanir la surface du sol. Toute irrégularité de celle-ci tend à favoriser l'existence de micro zones basses d'accumulation de sels par évaporation et la formation d'efflorescences salées par capillarité dans les zones hautes.

d - Utiliser l'eau à salure convenable adaptée à chaque cas et traiter l'eau sodique avant de l'utiliser en l'enrichissant en amendement calcique, comme c'est réalisé dans le Nord du Maroc.

En dehors des opérations de drainage principal pour éviter l'alimentation de la nappe phréatique, et abaisser son niveau, deux modes de traitement sont essentiels pour améliorer ces sols et éviter le retour aux processus de salinisation et d'alcalisation :

1) ajouter aux sols des quantités suffisantes d'eau de qualité adaptée à chaque sol pour en diminuer les teneurs en sels jusqu'à des valeurs compatibles avec la croissance des cultures ;

2) ajouter les amendements nécessaires pour échanger le sodium en excès sur le complexe absorbant du sol et redonner à celui-ci une structure et des propriétés physiques facilitant aussi le développement de cultures irriguées.

Nous les envisageons dans les pages suivantes.

Avant d'étudier plus en détail ces deux opérations d'amélioration des sols, nous soulignerons d'abord que le but principal étant à la fois l'augmentation des produits récoltés et celle du revenu agricole, l'aspect économique joue un rôle essentiel. Il paraît indispensable de limiter les dépenses en accélérant la phase non productive et en cultivant autant que possible, dès le début de ces opérations, des plantes résistantes aux conditions de salinité et d'alcalinité, en même temps qu'aux grandes quantités d'eau et d'amendements utilisés. Le développement de leur système racinaire et la production de résidus de leurs activités vitales, ne pourront qu'améliorer les caractères et propriétés physiques des sols : structure, perméabilité etc...

### 1. Lixiviation des sels.

Il est nécessaire de faire pénétrer une grande quantité d'eau à travers le profil du sol pour dissoudre l'excès de sels et l'expulser hors de la zone des racines et, si possible, vers le drain voisin.

KOVDA (1965) dans une étude générale sur les sols salés, souligne que le lessivage doit être capable de diminuer les sels jusqu'au plus 0,3 à 0,4 %, soit environ 5 à 6 mmhos/cm (dans l'extrait de la pâte saturée) dans la zone des racines; ainsi que la concentration des sels dans l'eau de la nappe phréatique jusqu'au maximum 2 à 3 gr/l.

Les pédologues Américains ont jusqu'à présent indiqué des normes plus faibles (RICHARDS, 1958). Les pédologues français ont admis en Afrique du Nord des valeurs intermédiaires, assez proches de celles indiquées par KOVDA : 4 mmhos de conductivité de l'extrait de pâte saturée s'il s'agit de sels neutres, et un peu plus bas si les carbonates de sodium dominent (AUBERT et OLLAT, 1969, AUBERT, 1974).

Comme l'a rappelé KOVDA (1965), les sols salés de la région deltaïque doivent être lessivés en utilisant l'eau moins salée que la zone superficielle du sol. La salure de l'eau utilisée doit être diminuée au fur et à mesure que le sol perd une partie des sels solubles qu'il contient (MASSOUMI, 1974). Autrement dit, au début, l'eau de lessivage doit avoir quand elle l'atteint une salure beaucoup plus faible que celle de la solution du sol au niveau du système racinaire. Son accroissement de salure à travers le sol dépend de la texture de celui-ci. Dans le cas des sols étudiés, la salure de l'eau doit être bien plus faible que 39 % pour le profil B, 50 % pour le profil F, 6 % pour le profil K, 7,8 % pour le profil B<sub>4</sub>, 6 % pour le profil G<sub>1</sub>, 4 % pour le profil B<sub>1</sub>, 7,5 % pour le profil S<sub>1</sub>, 2 % pour le profil K<sub>1</sub>, 6 % pour le profil S, 10,5 % pour le

profil Ks et 4 % pour le profil E.B. La salinité des eaux d'irrigation ou de lessivage doit diminuer en fait et à mesure de la diminution des sels dans le profil jusqu'à ce que cette salure du sol arrive à 0,3 % ou 4 % dans la zone des racines et que la salinité de la nappe phréatique diminue de 370 gr/l dans le profil B<sub>3</sub>, 76 gr/l dans le profil B, 39 gr/l dans le profil F, 79 gr/l dans le profil R, 85 gr/l dans le profil B<sub>1</sub>, 26 gr/l dans le profil E.B., 20 gr/l dans le profil B<sub>2</sub> et 5 gr/l dans le profil G ; jusqu'à 2 ou 3 gr/l.

Dans le cas où nous avons montré un effet de l'eau salée souterraine venant des lacs salés, il faut séparer la zone à cultiver de ces lacs par des drains très profonds de l'ordre de 3 à 4 m. Le secteur du profil B<sub>1</sub> nécessite un drain profond à la limite Est du lac Idco et celui du profil B<sub>3</sub> à la limite Sud du lac Borolos. Par ailleurs, le mouvement hydrostatique de l'eau souterraine relativement douce, venant des canaux ou des branches du fleuve voisins, provoque la remontée de la nappe phréatique et l'augmentation des sels dans la zone des racines ou même en surface. Un moyen efficace mais très coûteux d'améliorer la situation consiste à cimenter les canaux d'irrigation.

Dans la zone du profil B<sub>4</sub>, il faut mettre en place un drain profond entre les sols à protéger et la branche Roseta qui se trouve à l'Ouest. Les quantités d'eau à utiliser pour éliminer l'excès de sels, sont aussi importantes à envisager que leur composition.

D'après BALBA (1965) l'eau de lessivage en pénétrant le sol, remplace sa solution actuelle dans la couche superficielle en même temps que, progressivement se modifie sa composition. Cette couche garde une quantité d'eau équivalente à sa capacité au champ. Ensuite l'excès de l'eau devenue plus salée remplace la solution de la couche inférieure etc... L'excès d'eau entraînant les sels et, comme nous le verrons plus loin, souvent, une partie du sodium échangeable s'écoule vers les couches inférieures ou vers le drain. La proportion entre la quantité des sels solubles éliminés lors du lessivage du sol, et celle qui s'y trouvait initialement a été dénommée "intensité de lessivage" par ANTIPOV-KARATAEV et KARZUM (1965). Elle dépend des propriétés physiques et chimiques du sol, des conditions climatiques, de la végétation etc...

Ils ont utilisé le terme "fraction de lessivage" pour indiquer la quantité d'eau supplémentaire nécessaire à l'élimination des sels dans la masse du sol. Cette quantité leur paraît équivalente à la capacité au champ

du sol. En fonction de la perméabilité de celui-ci on peut en déduire le temps de percolation correspondant.

2. L'eau de lessivage seule n'est pas, en général, suffisante pour diminuer le sodium échangeable dans le sol jusqu'à la limite critique (15 %). Si elle n'est pas assez riche en Ca et ne peut en dissoudre suffisamment dans le sol elle risque de provoquer une augmentation du pH et une dispersion de l'argile, surtout si le drainage est mal assuré.

En effet, le sodium échangé par le calcium apporté par l'eau, quoique en quantité insuffisante, provoque ces phénomènes ; la remontée du pH limite la dissolution de  $\text{CaCO}_3$ .

Il faut dans ce cas, apporter un amendement suffisamment soluble dont le cation puisse s'échanger contre le sodium du complexe et être entraîné hors du sol. En pratique, on utilise le gypse ou parfois le calcaire finement broyé en même temps qu'on enfouit de la matière organique pour faciliter sa solubilisation. On peut aussi employer du soufre qui se transformera dans le sol en acide sulfurique. En terrain calcaire, ce dernier donnera naissance, sur place, à du sulfate de Calcium, suffisamment soluble.

Pour les sols salsodiques peu sodiques, si nous utilisons l'eau toute seule pour éliminer les sels solubles riches en sodium, nous risquons de voir se former une couche superficielle sodique imperméable qui peut être un obstacle contre l'amélioration du sol ; il faut donc là encore ajouter l'amendement nécessaire dès le commencement du lessivage, pour limiter l'effet alcalin de Na échangeable.

Il paraît intéressant par ailleurs, d'éliminer mécaniquement la couche superficielle très salée d'argile poudreuse (pseudosable) lorsqu'elle existe pour faciliter le processus de lessivage (profil B, H et F).

Les quantités d'amendements à apporter ont été calculées par RICHARDS (1957). Il a conclu que pour expulser 1 mé/100 gr de sodium échangeable sur le complexe absorbant, il faut ajouter 4 tonnes de gypse ou 0,8 tonne de soufre par hectare pour une profondeur de 30 cm. De son côté AUBERT (1974) donne des chiffres de 4 à 6 tonnes par suite de l'inefficacité partielle possible de l'amendement utilisé. Il semble d'ailleurs préférable de pousser l'amélioration sur 50 cm, en apportant de 7 à 10 tonnes. Le travail du sol, plus ou moins profond suivant les cas, est en même temps indispensable. En fonction de ces données, pour aménager les sols sodiques du delta du Nil, il faut ajouter une quantité de gypse ou de soufre, capable de remplacer

l'excès de sodium échangeable qui se trouve dans le complexe au-delà de 15 p. 100, environ, de sa capacité d'échange.

Pour améliorer 30 cm du profil B<sub>3</sub>, il faut au moins 32 tonnes de gypse ou 6,5 tonnes de soufre par hectare. Le profil F devra recevoir 80 tonnes de gypse ou 32 tonnes de soufre par hectare au minimum pour éliminer l'alcalinité causé par l'excès de sodium échangeable, si on peut d'abord en réaliser le drainage.

Par ailleurs, la sodicité des couches du sous-sol cause leur mauvaise perméabilité et leur structure massive.

Lorsqu'il en est ainsi, comme dans les sols représentés par les profils B<sub>3</sub>, Ks, B et E.B., il faut, non seulement amender l'eau et apporter les amendements nécessaires, mais aussi réaliser un travail très profond du sol. Même dans le cas du profil S dont le Na/T est justement égal à 15 % et qui est peu salé, il faut éviter l'augmentation du sodium échangeable qui risquerait de provoquer la remontée de la nappe phréatique, mettre en place un système convenable de drainage et utiliser des engrais riches en soufre, ou en sulfate de calcium.

---

Comme nous espérons l'avoir montré au cours de cette étude, la dégradation des sols du delta par salinisation et alcalisation, ainsi que les possibilités de drainage indispensable pour les défendre et même les récupérer, sont sous la dépendance essentielle de la succession en chaque point de couches de perméabilités et conductivités hydrauliques différentes et du mode de passage, verticalement et latéralement des unes aux autres.

En vue d'un aménagement plus rationnel de cette grande zone, il nous apparaît, actuellement, qu'une étude beaucoup plus détaillée, que nous n'avons eu le temps d'effectuer, de ces successions de couches et de leurs caractéristiques, ainsi que du mode de circulation des eaux dans cet ensemble devrait être réalisée.

B I B L I O G R A P H I E

---

- ABDALLA, M.M. (1950). The nature and extent of Interference of wind-born sand in alluvial soils of the Nile valley.  
M. Sc. thesis, University of Cairo.
- ABD EL- AAL, S.(1969). Physical and physicochemical studies on soil reoperates of certain alluvial soils of URR.  
Ph. D. thesis., Fac. Agric. Cairo Univ.
- ABOU RADY, F.(1972). La géographie climatique du delta du Nil.  
M.S.C. Fac des lettres Université d'Alexendrie (en Arabe).
- AMIEL, A.; and RAVIKOITCH, S.(1966). The differentiation between parent materials of alluvial and aeolian origin and the differentiation of soils derived from them in the southern coastal plain in Israel.  
Trans. Conf. Mediterranean soils, Madrid in soil & fertilizers 32 : 259-260.
- ANTIPOV-KARATAREV, I.V. and KADR, G/M. (1965). Sodlic solonetz soils, their genesi and methods used for their reclamation in the U.S.S.R. sodic soils symp. Agrok, es Tal. 14: 111-115.
- ATTIA, M.I. (1954). Deposits in the Nile valley and the Delta.  
Geological survey of Egypt.
- AUBERT, G. (1969). Cours de pédologie : Formation et fertilité des sols ORSTOM.
- AUBERT, G. et OLLAT, C.(1974). Observation sur l'utilisation d'eaux saumâtres pour l'irrigation et sur l'amélioration des sols salés.  
C.R. Ac. Agri. p. 244-254.
- BALL, J.(1939). Contribution to the geography of Egypt.  
Min. of finance, survey and Mines Department, Cairo-Egypt.
- BALBA, A.M.(1965). A quantitative study of the salinization and desalinization of soil columns. Syp. Sodic soils. Budapest, Talaj es Agr 14 : 35-358.
- BARSHAD, I.(1964). Chemistry of the soil. Bear, F.E. (ed.) Chap 1 : 1-70. Reinhold publishing corp. N.Y. (2<sup>nd</sup> edition).
- BLANEY, H.F. and CRIDDLE, W.D. (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.  
U.S. Dept. Agr. Div. Irrig. and water conservation, soil conservation service, SCS - TP - 96, wash., D.C. 44 pp.

- BRIGGE, L.J., and H.L. SHANTZ.(1916). Daily transpiration during the normal growth period and its correlation with weather. Jour. Agr. Res. 7 (4) : 155-212.
- BUTZER, K.W.(1959). Contributions to the pleistocen geology of the Nile valley. Erdkunde, t. XIII, p. 46 à 67.
- BUURISINK, J.(1971). Soils of central Sudan. Utrecht. Grafisch bedrijf scholanus and jens Utrecht N.V.
- EATON, F. (1950). Significance of carbonate In Irrigation. Soil Sci 69: 123-133.
- EL-FAYOUMY, I.F. (1968). Geology of ground water supplies In the region east of the Nile delta. Ph. D. thesis, Fac. Sci. Cairo Univ.
- EL-GABALY, GEWAIFEL, HASSAN and ROZANOV.(1969).  
-Soils and soil regions of U.A.R., Research Bulletin n°21.  
-Soil map and land resources of U.A.R., Research Bulletin n°22 (Institute of land reclamation, Alexandria University).
- EL-SHEEMY, H.M. (1972). Mineralogical studies of El-Tal El-Keeber alluvial soils and their physicochemical properties. M. Sc. thesis, Fac. of Agric., Univ. of Alex.
- EL-ZAHABY M.E. (1976). The relation between geomorphological aspects and the pedological mineralogical characteristics of the soils In Rosetta Area A.R.E. Ph. D. thesis, collège of Agriculture University of Alexandria.
- EMBERGER, L. (1951). Report sur les régions arides et semi-arides de l'Afrique du Nord, "Les bases écologiques de la végétation des zones arides". International Union of Biological Sciences (D.U.S.S.), séries B (colloques), Paris. (C.f. Sabet, S. (1961), Ph.D. thesis, University of Ain-Shama, Cairo).
- F.A.O./S.F. (1964). High dam soil survey, U.A.R. United Nations development program, F.A.O.
- F.A.O./Soil survey and fertility Branch.(1968). Guidelines for soil profile description land and water development division.
- FARAG, F.E., et al.(1963). The hydraulic conditions of edco lands and their effect on the distribution of soil components In different layers of soil profiles. Jour. Soil Sci U.A.R. 3 : 69-82.
- FOURTAU, R.(1915). Contribution à l'étude des dépôts nilotiques. Mém. Inst. Egypte, le Caïre, Tome 8, 1915.

- FRIHY, O.E.(1975). Geological study of quaternary deposits between. Abo-Qir and Rashid.  
M.Sc. thesis, fac. of Sci, Univ. of Alex.
- GEREI, L. (1965). The effect of sodium carbonate and other sodium on clay minerals and the clay fraction of soils sodic.  
Soils symp. Agrok. es tal. 14 : 203-211.
- GRIFFITHS, G.C. (1967). Scientific method in analysis of sediments.  
Mc. Grow-Hill Book Company, N.Y.
- HASHAD, M.N., A. ZEIN EL ABEDIN and M.E. EL GHAWASS.(1957). The effect of the sedimentation process on the texture of alluvial soils in the base of the Nile Delta.  
Annals of agric. Sci.2, 53, fac. of Agric., University of Ain-Shams.
- HASHEM, H. (1957). Irrigation in Egypt (in arabic)  
Ministry of public works, Egypt.
- JACKSON, N.L.(1958). Soil chemical analysis.  
Prentiz hall, INC. Englewood Cliffs, N.J.
- KHADR, M.(1960). An examination of light fraction of some Egyptian soils.  
Mededeling en van de landbouwschool te wageningen, Nederland 60 (12) : 1-12.
- KHADR, M. (1960 a). Heavy residue of some Egyptian soils geol. en. Mijnb., 40 e : 11-25.
- KHADR, M. (1961 b). The clay mineral composition of some soils of U.A.R. J. soil Sci. U.A.R. 1 : 141-155.
- and KHADR, M. (1961). Mineralogical study of the alluvial soils of the U.A.R. Egyptian scientific , Cairo (In print).
- KOVDA, U.A.(1958). Salinity problems of irrigated soils in Egypt.  
Publ. Inst. Desert 11, 7-14.
- LABIB, F. (1975). Morphological and chemical studies of delta soils (south). Ms.C. thesis N.C.R., Cairo.
- LABIB, F., SOLEIMAN, A., HAMDI, H., ABDEL SAMIE A. and DAMATI, A.(1966). Tentative classification scheme for the alluvial soil of Egypt.  
J. Soil Sci., U.A.R. 6 : 93-109.
- LABIB, F., and SYS, C.(1970). Soils on lacustrine and marine deposits in united Arab Republic. Pedologie 20 : 381-403.
- LANG, R. (1920). Verwitterung und bodendildung als einführung in die bodenkunde, stuttgart.  
(C.f. Jenny, H. (1941), factors of soil formation).

- LOZACH, J. (1935). Le delta du Nil. Le Caire.
- LYONS, H.G. (1906). " Physiography of the river Nile and its basin".  
Government press, Cairo.
- MADY, F.A. (1951). The chemical composition of Nile alluvial soils  
In relation to their mechanical analysis and to Nile mud composition.  
M. Sc. thesis, University of Cairo.
- MAKENZIE, R.C. (Ed.).(1957). The differential investigation of clays.  
Mineral Soc. London.
- MASSOUNI, A. (1975). Amélioration d'un sol salé à alcali par utilisation  
des eaux salées.  
Cah. ORSTOM. Sci. Pédol. Vol XII n0 3/4 p.227-233.
- MESHREF, H. (1974). Morphology, genesis and classification of soils  
In the north eastern reazion of Nile delta (Dakahlia province).  
Ms.C. thesis College of Agriculture University of Alexandria.
- NABHAM, H.M., SYS, C. and STOOPS, G. (1969). Mineralogical study of  
the suspended matter in the Nile water.  
Pedologie 19 : 34-48.
- RICHARDS, L.A. (1964). Diagnosis and improvement of saline and alkali  
soils U.S.D.A. agric. Handbook n°60.
- ROGNON, P. (1960). L'évolution de la vallée du Nil d'après des études  
récentes. Extrait de travaux de l'Institut de recherches sahariennes  
1er et 2ème semestres.
- SANDFORD, K.S. and ARKELL N.J. (1939). Palesolithic man and the Nile  
valley in lower Egypt. Oriental Inst. Univ. of Chicago press.  
Chicago, vol.49.
- SCHOONOVER, R.W., EL GABALY M.M., and HASSAN N. (1957). A study of  
some Egyptian saline and alkali soils. Hilgardia California,  
U.S.A. 26, 565.
- SESTINI, J. (1974). Study in the north coast of the Nile delta.  
Archaeological and historical studies. Ach. soc. of Alexandria,  
In press.
- SHUKRI, N.M. (1950),The mineralogy of some Nile sediments.
- SKUKRI, N.M. (1951). Mineral analysis tables of some Nile sediments  
Bull. Inst. Desert d'Egypte. Tome A, 2 : 39-67.
- SIMAÏKA, Y.M. (1940). The suspended matter in the Nile. Phys. paper 40,  
ministry of public wark, Egypt.

- SIRRY, H. (1937). "Irrigation In Egypt", a brief resume of its history and development.  
Ministry of public works, Egypt.
- SOLEIMAN, A. (1965). Morphological and chemical studies of the delta soils (center). Ms.C. thesis (N.C.R.) Cairo.
- SZABOLCS, I. (1965). Salt-affected soils in Hungary, sodic soils smp. Bpet agrok. es tal. 14 : 275-36.
- TOUSSON, O. (1932). Note sur les déserts d'Egypte. Bull. Inst. Eg. Le Caire, Tome XIV.
- WILLCOCKS, W. (1913). "Egyptian Irrigation", Vol.1.  
Government press.
- ZEN-EL-ABEDIN, A., and HAMDY, H. (1958). Report on soil properties, survey and reclamation in Egypte, higher council of res. Men. Rep. (In Arabic).
- ZEN-EL-ABEDIN, A., FATHI, A. and HAFES, A. (1964). Seasonal variation of solid matter in irrigation and drainage water with some aspects of their conditions after the high dam. J. Soil Sci. U.A.R. 4, n°2 : 119-140.
- ZEIN-EL-ABEDIN, A., ROBINSON, G.H., and TYEGO J. (1969). A study of certain physical properties of vertisol in the Gezira area, Republic of Sudan Soil. Sci. 108 : 359-367.