

## Contribution à l'étude des phénomènes d'hydromorphie

### Recherche de relations morphogénétiques existant dans un type de séquence de sols hydromorphes peu humifères au Tchad

1<sup>re</sup> PARTIE :

#### Étude des caractères morphologiques et analytiques des sols de la séquence de Gole

J.F. VIZIER

*Pédologue de l'ORSTOM*

#### RÉSUMÉ

*Le but de cette étude consiste à rechercher les relations qui peuvent exister entre les caractères morphologiques et analytiques des profils d'une séquence de sols diversement marqués par l'hydromorphie (1<sup>re</sup> partie) et la dynamique actuelle de l'eau et du fer dans la séquence (2<sup>e</sup> partie). De telles relations ont pu être établies à différentes échelles : celles de l'horizon, du profil et de la séquence. C'est ainsi que les caractères des horizons à gley et à pseudogley sont reliés à des types d'évolution différents et que la répartition du fer dans les sols peut être expliquée par la dynamique actuelle de cet élément. L'étude dynamique a permis en outre de préciser l'allure de quelques phénomènes liés à la présence d'un excès d'eau dans les sols (augmentation naturelle de la compacité en profondeur, phénomènes d'oxydoréduction, migration du fer) et de préconiser des aménagements simples pour la mise en valeur.*

#### AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé au Tchad, au Centre ORSTOM de N'djaména.

Les travaux de terrain ont été menés avec la collaboration de J. ASSELINE et R. SAYOL. Les analyses portant sur les échantillons prélevés dans les sols en place ou sur des modèles expérimentaux ont été

#### ABSTRACT

*The aim of this study was to find out the relations that may exist between the morphologic and analytic characteristics of the profiles of a sequence of soils diversely marked by hydromorphy (1<sup>st</sup> part), and the present day dynamics of water and iron in the sequence (2<sup>nd</sup> part). Such relations have been established at different scales : those of the horizon, profile and sequence. Thus, the characteristics of the gley and pseudogley horizons are connected to different types of evolution, and the distribution of iron in the soils can be explained by the present day dynamics of this element. Besides, this dynamic study made it possible to explain the speed of some phenomena tied to the presence of an excess of water in the soils (natural increase of the compactness in depth, oxidation-reduction phenomena, iron migration) and to recommend simple arrangements for the development.*

effectuées par le Laboratoire du Centre ORSTOM de N'djaména, dirigé par C. BLANCH, assisté de J.B. DURAS. Les analyses par diffraction des rayons X et celles sur les fractions humifiées de la matière organique ont été faites respectivement dans les Laboratoires de Spectrographie et de Chimie des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy, sous les directions de M. PINTA et B. DABIN. Les lames minces ont été réalisées par M. FROMAGET.

## SOMMAIRE

## Introduction

*Première partie*

Etude des caractères morphologiques et analytiques des sols de la séquence de Gole

## 1. PRÉSENTATION

- 1.1. Le climat
- 1.2. Le modelé
- 1.3. Le matériau
- 1.4. La végétation

## 2. ÉTUDE MORPHOLOGIQUE DES SOLS

- 2.1. Description des types de sols des parties haute, moyenne et basse de la séquence
- 2.2. Organisation des horizons à l'échelle de la séquence
- 2.3. Données micromorphologiques

## 3. CARACTÈRES ANALYTIQUES DES SOLS

- 3.1. Granulométrie
- 3.2. La matière organique
- 3.3. Le pH des sols
- 3.4. Le fer
  - 3.4.1. Répartition du fer total
  - 3.4.2. Le fer amorphe
  - 3.4.3. Concrétionnement

## 4. CONCLUSIONS SUR L'ÉTUDE DES CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET ANALYTIQUES DES SOLS DE LA SÉQUENCE

*Deuxième partie \**

Dynamique de l'eau et du fer dans les sols de la séquence

## 1. PRÉSENTATION

## 2. ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES VARIATIONS SAISONNIÈRES

- 2.1. Type et périodicité des déterminations
- 2.2. Etude du régime hydrique
  - 2.2.1. Variations de la densité apparente des sols
  - 2.2.2. Les profils hydriques et la variation de la nappe
  - 2.2.3. Estimation de la durée de saturation des horizons et conclusions partielles sur le régime hydrique des sols de la séquence

## 2.3. Etude de l'état d'oxydoréduction du sol

- 2.3.1. Etude des phénomènes d'oxydoréduction réalisée sur des monolithes non perturbés, prélevés dans les sols de la séquence
- 2.3.2. Etude de l'état d'oxydoréduction dans les sols en place. Relation avec la durée de saturation
- 2.4. Etude des variations de la température du sol
- 2.5. Variations du pH
- 2.6. Comportement des différents types d'horizons et hypothèses sur la dynamique de l'eau et du fer

## 3. LES MOUVEMENTS DE L'EAU ET LEURS CONSÉQUENCES SUR LA DYNAMIQUE DU FER

- 3.1. Les mouvements de l'eau dans les sols
  - 3.1.1. Mise en évidence des mouvements latéraux de l'eau par des calculs de bilan
  - 3.1.2. Autres arguments en faveur de l'existence des mouvements latéraux de l'eau
- 3.2. Etude expérimentale du rôle des mouvements de l'eau sur la dynamique du fer, en fonction de l'état d'oxydoréduction du sol
  - 3.2.1. Mise en évidence de la migration du fer. Importance du phénomène
  - 3.2.2. Allure du phénomène de migration du fer

## 4. CONCLUSION SUR L'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DE L'EAU ET DU FER DANS LES SOLS DE LA SÉQUENCE

*Troisième partie \**

Conclusions sur l'évolution actuelle des sols et hypothèses sur la formation de la séquence basées sur la connaissance de la morphologie et de la dynamique actuelles. Conséquences pour la mise en valeur.

## 1. RELATIONS EXISTANT ENTRE LES SOLS TELS QU'ILS SE PRÉSENTENT MORPHOLOGIQUEMENT ET ANALYTIQUEMENT ET LEUR ÉVOLUTION ACTUELLE

## 2. HYPOTHÈSES SUR LA FORMATION DES SOLS DE LA SÉQUENCE

## 3. CONSÉQUENCES DE L'ÉVOLUTION ACTUELLE POUR LA MISE EN VALEUR

## CONCLUSION

## BIBLIOGRAPHIE

## ANNEXES

## PLANCHES DE PHOTOGRAPHIES

(\*) in : Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XII, n° 3/4, 1974.

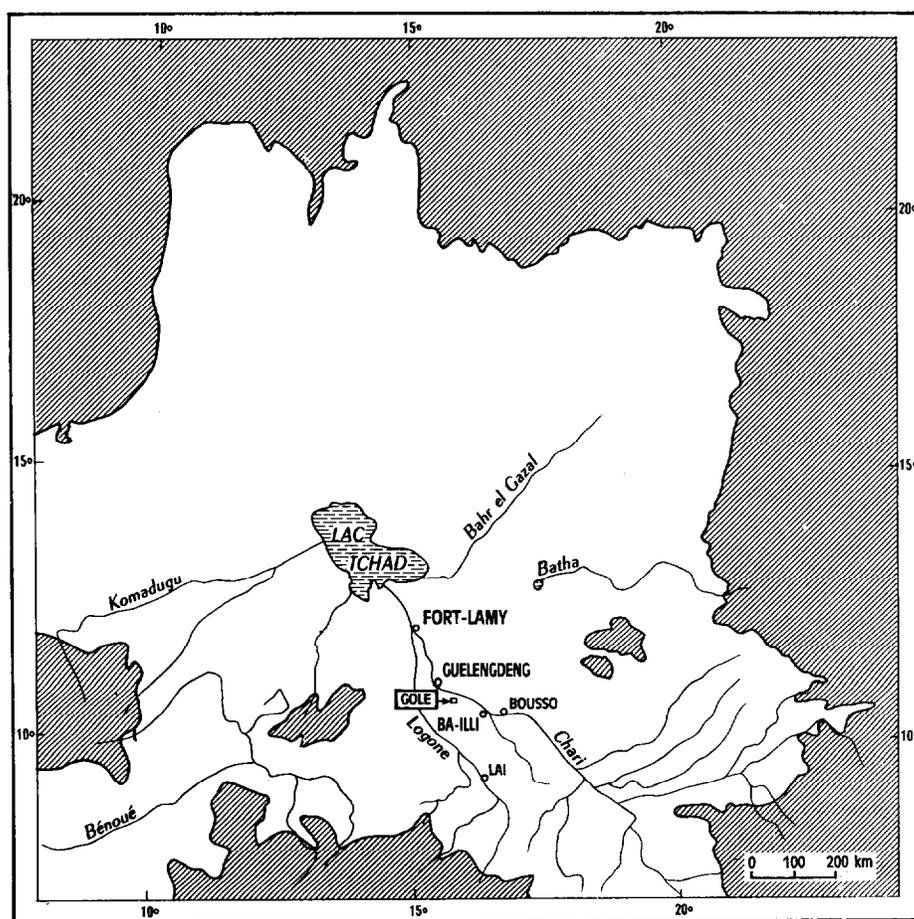
## INTRODUCTION

Les sols hydromorphes sont largement représentés dans la partie sud du Bassin du Lac Tchad. Ils appartiennent à différents groupes de la sous-classe des sols hydromorphes peu humifères (AUBERT, 1965) et se répartissent dans le paysage peu accidenté de cette région, en fonction de la topographie suivant des séquences où ils sont parfois associés à des sols halomorphes à structure dégradée et à des vertissols.

Dans cette région, soumise à un climat sahélo-soudanien (AUBREVILLE, 1950) qui se caractérise par

l'alternance d'une saison sèche et d'une saison pluvieuse, on peut observer d'importantes surfaces inondées de juillet à novembre c'est-à-dire en cours et en fin de saison des pluies. L'inondation est due à l'accumulation temporaire d'eaux météoriques dans des zones de dimensions variables présentant un endoréisme plus ou moins marqué, accumulation à laquelle s'ajoute très souvent et sur une grande étendue l'apport des eaux de crue du Logone.

Lors des travaux de cartographie de reconnaissance pédologique de la vaste plaine alluviale comprise entre les cours du Logone, en aval de Laï et du Chari, en aval de Bousso, il s'est souvent avéré difficile de relier les termes de la classification régionale adoptée pour les sols hydromorphes, à des types d'évolution



d'après une carte hypsométrique de P. Louis (1970)

Altitude supérieure à 500 m

FIG. 1. — Localisation de la séquence étudiée dans le bassin du lac Tchad.

des sols bien définis. C'est ainsi que dans la hiérarchie des critères de classification, le caractère de « profondeur de l'apparition de traces d'hydromorphie » par rapport à la surface du sol, a prévalu sur la distinction des caractères morphologiques liés à l'intensité des phénomènes auxquels on a habituellement recours, c'est-à-dire le gley et le pseudogley.

L'objet de cette étude est un type de séquence comprenant des sols qui sont, suivant la topographie, diversement marqués par l'hydromorphie, sans passage par des termes halomorphes ou vertiques.

Une séquence a été étudiée à Gole (voir figure 1). Elle est située dans une zone présentant un endoréisme assez marqué. L'inondation qui affecte la partie la plus basse de cette séquence, dure, en année de pluviosité moyenne, de la mi-juillet à la fin septembre ; elle est provoquée par l'accumulation d'eaux météoriques.

Le but de cette étude consiste en la recherche de relations existant entre les caractères morphologiques et l'évolution actuelle de ces sols.

Le travail sur la séquence de Gole a porté sur la *caractérisation morphologique* des sols, complétée par de nombreuses déterminations analytiques (1<sup>re</sup> partie) et sur une étude *dynamique* effectuée pendant trois années, axée vers la connaissance du régime hydrique et des variations de l'état d'oxydoréduction des sols (2<sup>e</sup> partie) (1). La partie dynamique de l'étude a été menée simultanément sur *les sols en place* et en *laboratoire* sur des modèles expérimentaux.

Les différentes phases de ce programme sont résumées dans le tableau 1.

Les travaux de laboratoire ont présenté plusieurs aspects. Ils ont consisté :

— tout d'abord en des mises au point de méthodes d'analyses applicables aux prélèvements faits sur les sols en place,

— puis en des expérimentations visant à préciser l'allure de phénomènes physiques ou physico-chimiques, par la simulation des conditions naturelles sur des modèles (monolithes ou mottes), tout en simplifiant et maîtrisant un ou plusieurs facteurs d'évolution,

— enfin en des expériences complémentaires sur des colonnes de terre ayant pour but d'appréhender des processus difficiles à étudier *in situ* et permettant de connaître le rôle et l'importance des phénomènes observés dans l'évolution et la différenciation des sols.

En fait, la partie dynamique de cette étude concerne essentiellement *l'eau* qui, saturant certaines parties des profils en détermine le comportement et le *fer*, élément du sol qu'il a paru intéressant de considérer en raison de ses qualités d'indicateur de l'hydromorphie (VIZIER, 1971b).

L'examen micromorphologique de quelques lames minces effectuées sur des monolithes prélevés sur la séquence, complète les données sur la morphologie des profils et fournit des éléments pour la formulation de quelques hypothèses sur l'évolution et la formation des sols.

Ces différents aspects de l'étude ont permis de relier :

- le régime hydrique ;
- le développement et l'intensité des phénomènes de réduction ou d'oxydation, conséquences de ce régime ;
- les caractères morphologiques qui peuvent être considérés comme les effets de ces phénomènes qui marquent les sols et particulièrement ceux liés à la dynamique du fer ;

et de présenter enfin des hypothèses sur l'évolution actuelle et la formation de ce type de séquence de sols hydromorphes (3<sup>e</sup> partie).

## 1. PRÉSENTATION

La séquence étudiée (1) est située à 2 km à l'est du village de Gole et à 50 km au sud de Guelendeng, au nord des vastes zones inondables qui s'étendent entre les cours du Logone et du Chari (voir figure 1).

### 1.1. Le climat

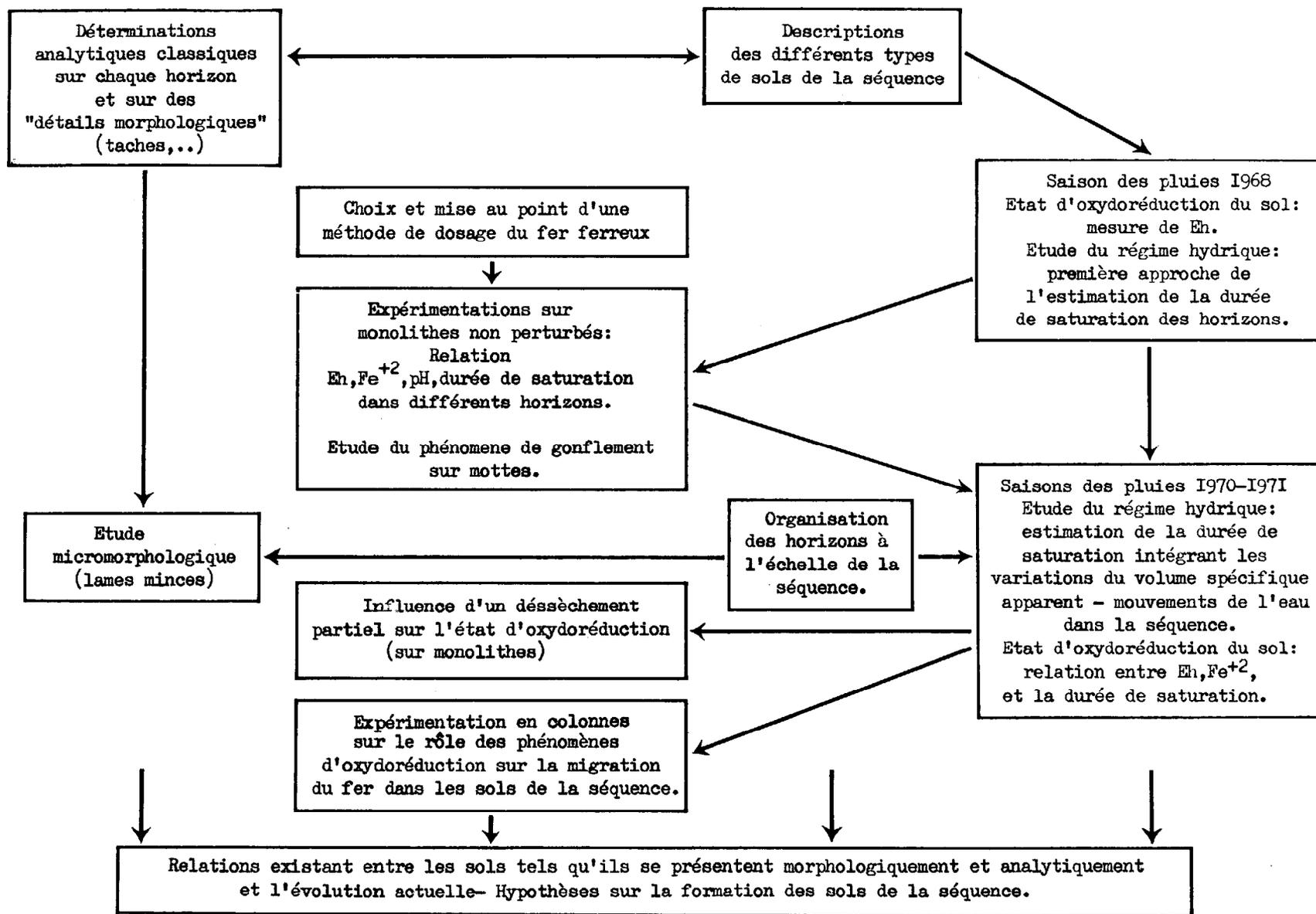
Le climat est caractérisé par :

— une saison sèche de novembre à avril (précipitations de 30 millimètres en moyenne pour ces 6 mois), au cours de laquelle les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air restent inférieures à 50 %.

— et une saison pluvieuse de mai à octobre ; les précipitations se produisant surtout pendant 4 mois de juin à septembre.

(1) Les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> parties paraîtront dans le n° 3, du vol. XII des Cahiers ORSTOM, série pédologie.

(1) Latitude : 10°45'15" N — Longitude : 15°56'30" E — Altitude : 320 mètres environ.



TABEAU 1

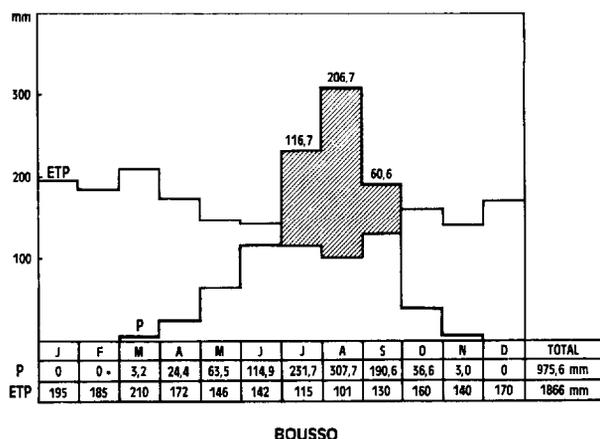


FIG. 2. — Comparaison de l'évapotranspiration potentielle et de la pluviométrie (moyennes mensuelles en millimètres).

L'indice pluviométrique annuel, compris entre 900 et 1 000 millimètres, est nettement inférieur à la valeur annuelle de l'évapotranspiration potentielle (TURC, 1961) : à Bouso, par exemple,  $P/ETP = 0,52$  (voir figure 2).

La température moyenne annuelle est de 28 °C environ. Les courbes de températures présentent :

— deux *maxima* : un maximum absolu en avril (fin de la saison sèche) et un relatif en octobre (fin de la saison des pluies) ;

— et deux *minima* : un en saison humide (août) et un en saison sèche (décembre ou janvier).

## 1.2. Le modelé

Le relief de la région est peu accentué. La séquence étudiée fait partie d'un ensemble de petites dépressions à faible dénivellation (la pente est généralement inférieure à 1 %), plus ou moins fermées, séparées par de petites buttes qui sont toujours exondées. Cet ensemble a cependant un exutoire vers le Chari, mais qui n'est fonctionnel qu'après de fortes précipitations.

La figure 3 représente le bloc diagramme de la séquence, avec les courbes de niveau. On a distingué trois parties :

- la partie haute : toujours exondée ;
- la partie moyenne : exceptionnellement inondée ;
- et la partie basse : inondée de façon plus ou moins prolongée en saison des pluies.

Les plus fortes dénivellations sont dues à des termitières en dômes évasés. Dans la partie haute de la séquence, elles ont 30 à 40 centimètres de haut et sont espacées de 20 à 40 mètres. Dans la partie inondable, elles constituent de petits îlots exondés. On observe également de petits édifices biologiques dus aux ter-

TABLEAU 2

### Températures

Moyennes mensuelles et annuelles en °C pour Bouso (sur 13 années)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy.
Max. ....	35,9	38,0	39,9	39,4	37,6	33,9	30,8	29,9	31,4	33,6	35,9	35,7	35,2
Min. ....	15,1	17,5	23,0	25,3	25,0	23,1	22,3	21,9	21,9	22,1	18,0	15,0	19,8
Moy. ....	25,5	27,7	31,4	32,3	30,7	28,5	26,5	25,8	26,6	27,9	27,0	25,3	27,5

### Humidité relative

Moyennes mensuelles et annuelles en % pour Bouso (sur 13 années)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy.
30,9	25,1	27,8	43,0	54,3	68,0	79,6	84,2	81,7	73,7	52,9	39,5	55,1

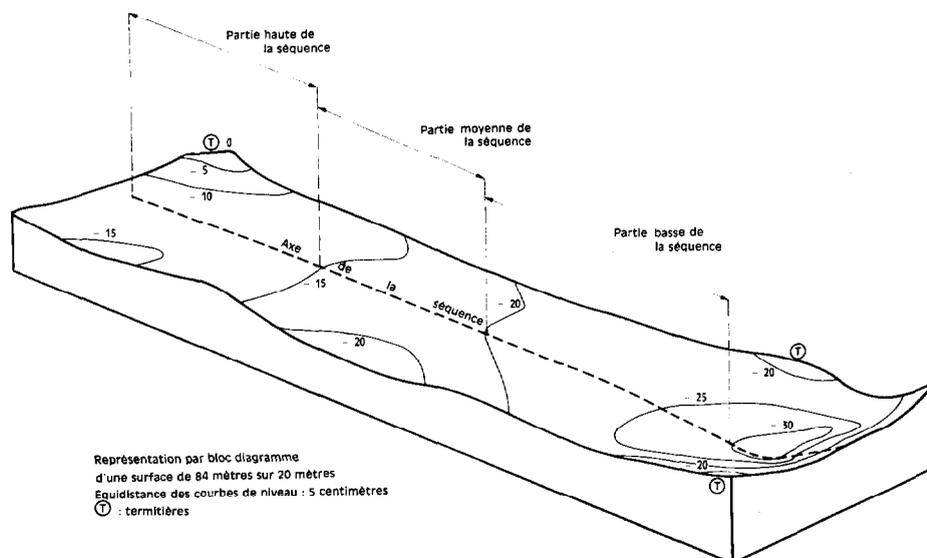


FIG. 3. — Localisation des différentes parties de la séquence.

mites à la limite de l'inondation ; hauts d'une dizaine de centimètres, ils occupent de faibles surfaces : 20 centimètres de diamètre environ à la base.

### 1.3. Le matériau

Le matériau sur lequel se différencient les sols étudiés, fait partie des formations quaternaires anciennes de la cuvette tchadienne (PIAS, 1970). Ce sont des alluvions provenant des séries paléotchadiennes de la partie amont des cours du Chari et du Logone et qui se sont redéposées en aval.

La fraction argileuse est à kaolinite dominante, avec de la montmorillonite et des traces d'illite (1).

La fraction sableuse contient essentiellement des quartz subanguleux dont 60 à 80 % sont teintés, peu brillants, présentant assez souvent des craquelures garnies d'oxydes de fer, morphologie dont l'origine, par analogie avec ce qui a été observé en Afrique Occidentale (FAUCK, 1970), peut être attribuée à la ferrallitisation qui a marqué les séries paléotchadiennes. On note également la présence de quelques feldspaths altérés et de très rares micas.

(1) D'après des analyses effectuées au laboratoire de Spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy.

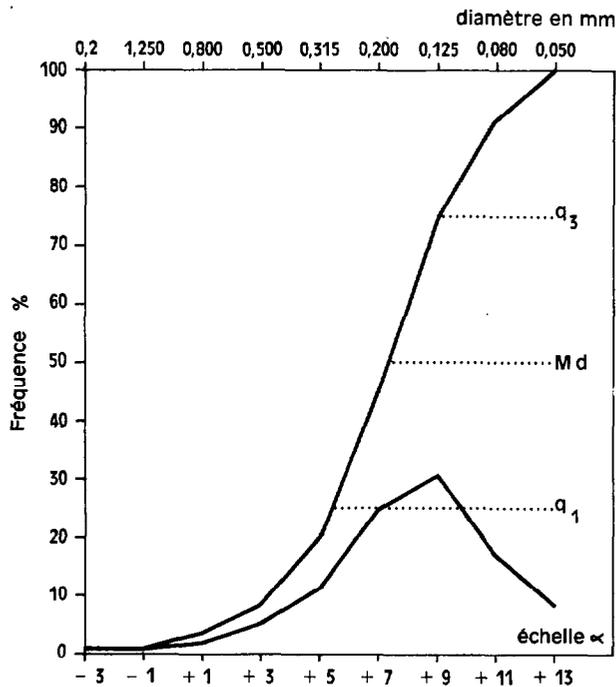
L'étude granulométrique de la fraction sableuse permet de constater l'homogénéité du matériau sur l'ensemble de la séquence. Cette étude a été réalisée sur 27 échantillons prélevés dans cinq profils des parties haute, moyenne et basse de la séquence (en 4 - 9 - 14 - 18 et 25 : voir figure 5). On a effectué un tamisage de la fraction 50  $\mu$  - 2 mm, avec la série de tamis suivante : diamètre des mailles (en millimètres) : 2 - 1,25 - 0,80 - 0,50 - 0,315 - 0,20 - 0,125 - 0,08 - 0,05.

Les poids de sables obtenus dans les tamis ont permis d'établir pour chaque échantillon, une courbe de fréquence et une courbe cumulative ; les fréquences sont portées en ordonnées et les diamètres des mailles des tamis en abscisses suivant une échelle logarithmique (échelle alpha de Bourcart). Sur la courbe des fréquences cumulées, on détermine la médiane (Md) et un paramètre de classement : l'écart interquartile géométrique ou « sorting coefficient » de Trask ( $S_0$ ),

$$S_0 = \frac{q_1}{q_3} \text{ (BILLY, 1954 ; VATAN, 1967).}$$

La figure 4 présente, en exemple, les courbes obtenues pour deux échantillons prélevés dans des horizons et des profils différents :

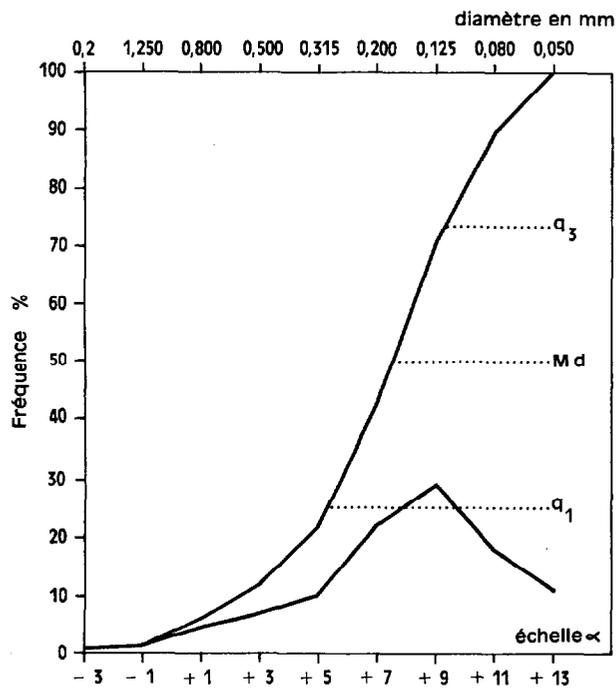
— un horizon superficiel sableux de la partie haute de la séquence ;



Classe en mm	Fréquence	Fréquence cumulée
2 - 1,250	0,5	0,5
1,250 - 0,800	2,9	3,4
0,800 - 0,500	5,4	8,8
0,500 - 0,315	11,3	20,1
0,315 - 0,200	24,3	44,4
0,200 - 0,125	30,6	75,0
0,125 - 0,080	16,7	91,7
0,080 - 0,050	8,3	100,0

HORIZON SUPERFICIEL 0 - 10 cm  
HAUT DE SEQUENCE (GL 9)

Md = 0,184 mm  
So = 1,51



Classe en mm	Fréquence	Fréquence cumulée
2 - 1,250	1,0	1,0
1,250 - 0,800	4,5	5,5
0,800 - 0,500	6,2	11,7
0,500 - 0,315	9,9	21,6
0,315 - 0,200	20,5	42,1
0,200 - 0,125	28,9	71,0
0,125 - 0,080	18,1	89,1
0,080 - 0,050	10,9	100,0

HORIZON PROFOND 75 - 85 cm  
BAS DE SEQUENCE (GL 18)

Md = 0,176 mm  
So = 1,60

FIG. 4. — Granulométrie des sables. Courbes de fréquence et fréquences cumulées.

— un horizon profond argileux de la partie basse de la séquence.

Dans tous les cas, on observe une courbe de fréquence *unimodale* et une courbe cumulative bien redressée. Les médianes sont comprises entre 0,176 mm et 0,240 mm ; pour 22 échantillons sur 27 entre 0,176 mm et 0,198 mm. Les valeurs du « sorting coefficient » varient de 1,51 à 1,71 et indiquent que les sables sont bien classés (BILLY, 1954).

Le matériau sur lequel se différencient les sols de la séquence ne présente aucune discontinuité sédimentaire.

#### 1.4. La végétation

La végétation (1) est une savane arbustive claire à prédominance de combrétacées. Dans les zones plus basses, la strate ligneuse se regroupe sur des termitières ou des petites buttes.

Dans la partie haute de la séquence, la végétation est dégradée ; les espèces relevées sont pour la strate arbustive : *Combretum glutinosum*, *C. hypopilinum*, *Piliostigma reticulatum*, *Strychnos spinosa*, *Anogeissus leiocarpus*, *Annona senegalensis*, *Hexalobus monopetalus*, et pour la strate herbacée : *Andropogon gayanus*, *Borreria stachydea*, *Cochlospermum tinctorium* et *Dactyloctenium aegyptium* plante indicatrice de jachères.

Dans la partie moyenne de la séquence, les principaux arbustes sont : *Piliostigma reticulatum* et regroupés sur des petites buttes ou des termitières : *Lanea schimperii*, *Combretum molle*, *Commiphora pedunculata*, *Bridelia scleroneura*, *Lonchocarpus laxiflorus* et *Entada sudanica* ; tandis que *Andropogon pseudapricus*, *Diheteropogon amplexans*, *Hyparrhenia bagermica*, *Ctenium newtonii* pour les graminées et *Scirpus kernii* et *Fimbristylis hispidula* pour les cypéracées, constituent l'essentiel de la strate herbacée.

Dans la partie basse de la séquence, on observe des auréoles successives vers le point le plus bas ; *Andropogon pseudapricus*, *Bracharia jubata* pour les graminées, *Cyperus tenuispica*, *Scleria tessellata*, *Scirpus supinus* pour les cypéracées ; puis *Bracharia jubata* et *Eragrostis atrovirens*, enfin *Panicum afzelii* et *P. anabaptistum*.

(1) D'après des relevés effectués par G. FORTUS.

## 2. ÉTUDE MORPHOLOGIQUE DES SOLS

L'étude morphologique des sols de la séquence comporte trois paragraphes qui regroupent des observations effectuées à différentes échelles.

Le premier paragraphe présente des descriptions à l'échelle de l'horizon et du *profil* des trois types de sols de la séquence.

Le deuxième paragraphe traite de l'organisation des horizons à l'échelle de la *séquence*. On obtient une représentation qui sert de base à l'étude de la répartition dans l'espace, de différentes caractéristiques analytiques des sols.

Le troisième paragraphe regroupe des données *micromorphologiques*. Les observations portent surtout sur l'assemblage de base, densité du plasma, importance des vides et la répartition du fer dans différents horizons des sols des trois parties de la séquence.

### 2.1. Description des types de sols des parties haute, moyenne et basse de la séquence

Les descriptions morphologiques suivantes correspondent à :

- un profil de la partie haute de la séquence : GL 4 ;
- un profil de la partie moyenne de la séquence : GL 14 ;
- un profil de la partie basse de la séquence : GL 18.

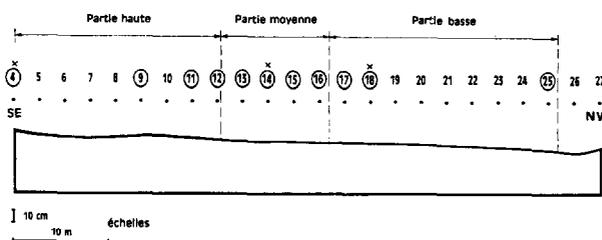


FIG. 5. — Localisation des profils étudiés sur la séquence.

x Profil dont la description est donnée dans le texte.

Les nombres correspondent à des points équidistants de 3 mètres sur l'axe de la séquence ; ceux qui sont inscrits dans un cercle, permettent précédés des lettres GL (pour Gole) de désigner les profils de sol étudiés.

Les variations latérales indiquées, sont celles qui sont observées dans chaque partie de la séquence, par rapport au profil décrit.

#### PROFIL DE LA PARTIE HAUTE DE LA SÉQUENCE

##### Profil GL 4

0 - 18 cm

Brun grisâtre foncé (10 YR 4,5/2), quelques poches dues à l'activité biologique ; texture sableuse ; structure polyédrique subanguleuse moyenne, peu nette ; assez poreux ; porosité interstitielle ; peu cimenté, fragile ; racines fines ; transition distincte.

18 - 32 cm

Brun jaunâtre (10 YR 5/4) ; texture sableuse ; structure polyédrique subanguleuse peu nette ; poreux ; porosité interstitielle et tubulaire fine ; peu cimenté, fragile ; quelques racines fines et moyennes ; transition distincte.

32 - 56 cm

Brun jaunâtre clair (8,75 YR 6/4) ; quelques taches jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6) à limites peu nettes réduisant localement la porosité des agrégats ; texture sableuse ; structure polyédrique subanguleuse peu nette ; poreux ; porosité interstitielle ; peu cimenté, fragile ; quelques racines, transition distincte.

56 - 96 cm

Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) ; quelques traînées gris clair (10 YR 7/2) ; taches jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8) à limites plus ou moins nettes ; quelques petits éléments ferrugineux de forme nodulaire, cortex de la couleur des taches, centre noir, arrondis, d'un diamètre inférieur à 5 mm ; texture sablo-argileuse ; structure polyédrique subanguleuse grossière, peu nette à nette ; peu poreux à poreux ; peu cimenté, peu fragile ; transition distincte.

96 - 110 cm

Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) ; traînées grises (2,5 Y 6/0) ayant tendance à s'anastomoser ; nombreuses taches jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8) et brun foncé (7,5 YR 5/8) à limites nettes, irrégulières ou arrondies de 1 à 2 cm de diamètre ; éléments ferrugineux de forme nodulaire, de même couleur que les taches, à centre noir, arrondis, de 0,5 à 1 cm de diamètre ; texture argilo-sableuse ; structure prismatique grossière peu nette à nette, sous-structure polyédrique subanguleuse ; peu poreux ; porosité surtout tubulaire ; fortement cimenté, non fragile ; transition graduelle ; *variation latérale* : localement traces d'activité biologique, poches poreuses ; nombreuses concrétions (GL 11).

110 - 150 cm

Zones grises (2,5 Y 6/0) dominantes, quelques taches brun jaunâtre (10 YR 5/4), irrégulières, localisées sur les faces des prismes ; quelques éléments ferrugineux de formes nodulaires, arrondis, d'un diamètre inférieur à 0,5 cm ; mêmes texture, structure et porosité que l'horizon précédent.

Les sols de la partie haute de la séquence, présentent la succession d'horizons suivante :

- Horizon humifère sableux ;
- Jusqu'à 50 à 60 cm de profondeur, horizon *lessivé*, poreux, peu taché.
- Horizon de transition (entre 56 et 96 cm en GL 4) sablo-argileux, un peu moins poreux que les horizons superficiels ; ségrégations de fer : *pseudogley*.
- Horizon d'accumulation, sablo-argileux à argilo-sableux, plus compact, les ségrégations (taches, concrétions) deviennent plus nombreuses : *pseudogley*.
- Passage progressif à un *gley* en profondeur.

#### PROFIL DE LA PARTIE MÉDIANE DE LA SÉQUENCE

##### Profil GL 14

0 - 10 cm

Brun grisâtre (2,5 Y 5/2) avec des plages grises (2,5 Y 5/0) correspondant à des zones moins poreuses ; taches irrégulières ou arrondies de 1 à 3 mm de diamètre, brun jaunâtre (10 YR 5/8 à 10 YR 5/4), à limites souvent peu nettes, liées à la porosité interstitielle ; texture sableuse ; structure polyédrique subanguleuse moyenne, peu nette ; ensemble assez poreux à poreux ; porosité essentiellement interstitielle, quelques pores tubulaires ; peu cimenté et fragile ; racines fines irrégulièrement réparties ; transition distincte.

10 - 30 cm

Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) ; quelques taches jaune brunâtre (10 YR 6/8) irrégulières ou arrondies de 5 mm de diamètre ; à limites peu nettes ; texture sableuse à sablo-argileuse ; structure polyédrique subanguleuse moyenne, peu nette ; poreux, porosité interstitielle ; peu cimenté, fragile ; quelques racines moyennes ; transition distincte ; *variation latérale* : épaisseur de l'horizon diminuant de GL 13 et GL 14 : 10 - 30 cm vers GL 16 : 10 - 20 cm.

30 - 65 cm

Brun jaunâtre clair (10 YR 5,5/4) ; taches brun foncé (7,5 YR 5/8) à brun jaunâtre (10 YR 5/8), irrégulières ou arrondies, de 1 à 2 cm de diamètre, à contraste distinct et limites plus ou moins nettes ; éléments ferrugineux de forme nodulaire, cortex brun jaunâtre (10 YR 5/4 à 10 YR 5/8), centre noir, arrondis, de diamètre inférieur à 1 cm et le plus souvent inférieur à 5 mm ; éléments ferrugineux et taches sont localisés dans les agrégats qu'ils imprègnent et dont ils augmentent la cimentation et diminuent la porosité ; texture argilo-sableuse ; structure polyédrique subanguleuse grossière peu nette à nette ; poreux ; porosité interstitielle fine ; peu cimenté, fragile ; quelques racines fines et moyennes ; transition distincte ; *variation latérale* : la transition avec l'horizon suivant est ondulée dans cette partie de la séquence, la profondeur de la base de cet horizon varie entre 45 et 65 cm.

65 - 85 cm

Même couleur que l'horizon précédent ; apparition de plages brun très pâle (10 YR 7/3) ou grises (2,5 Y 5/0) irrégulières ou allongées ; nombreuses taches brun jaunâtre (10 YR 5/4 à 10 YR 5/8) contraste distinct et limites nettes ; nombreux éléments ferrugineux de forme nodulaire, arrondis, le plus souvent de 5 mm à 1 cm de diamètre, cortex de même couleur que les

taches, centre noir ; texture argilo-sableuse ; structure prismatique grossière nette ; peu poreux ; porosité essentiellement tubulaire verticale ; fortement cimenté, non fragile ; quelques racines ; transition graduelle.

85 - 120 cm

Plages grises peu poreuses dominantes ; taches brun jaunâtre (10 YR 5/4) à contraste distinct et limites nettes irrégulières, ayant jusqu'à 2 à 3 cm dans leur plus grande dimension, localisées sur les faces des prismes ; éléments ferrugineux de forme nodulaire, arrondis, le plus souvent d'un diamètre inférieur à 5 mm ; mêmes texture, structure et porosité que pour l'horizon précédent ; peu de racines.

Les sols de la partie moyenne de la séquence, présentent la succession d'horizons suivante :

— Horizon humifère, légèrement taché : *gley peu exprimé*.

— Horizon sableux à argilo-sableux, poreux, dont la teneur en argile augmente jusqu'à 50 à 60 cm de profondeur, tandis que les ségrégations deviennent plus nombreuses (taches, nodules d'hydroxydes) ; le caractère lessivé est moins net que dans la partie haute de la séquence : *pseudogley*.

— Horizon argilo-sableux nettement plus compact que les horizons sus-jacents, nombreuses taches et concrétions : *pseudogley*.

— Passage graduel à un *gley* en profondeur.

#### PROFIL DE LA PARTIE BASSE DE LA SÉQUENCE

##### Profil GL 18

surface : Fentes de retrait de quelques millimètres à 1 cm de largeur formant une polygonation irrégulière à la surface du sol.

0 - 10 cm

Gris (2,5 Y 5/0) ; petites taches brun jaunâtre à jaune brunâtre (10 YR 5/6 à 10 YR 6/8) contrastant bien avec la couleur de fond et à limites nettes, associées aux vides : arrondies, de 1 à 3mm, en liaison avec une porosité de type interstitiel ou formant des gaines dans les canaux racinaires ; plages gris brunâtre clair (2,5 Y 6/2) à porosité interstitielle plus développée, présentant des taches jaune brunâtre arrondies dont le diamètre peut atteindre 1 cm mais à limites moins nettes ; quelques éléments ferrugineux de forme nodulaire, arrondis, de 2 à 5 mm de diamètre à cortex brun à brun jaunâtre (10 YR 4/3 à 10 YR 5/8), centre noir ; texture sablo-argileuse ; structure prismatique grossière nette, sous-structure polyédrique subanguleuse ; poreux ; porosité de type interstitiel et tubulaire d'orientation horizontale en liaison avec le système racinaire ; peu cimenté, peu fragile ; racines fines ; transition distincte. *Variation latérale* : l'épaisseur de cet horizon varie de 5 à 10 cm ; les plages gris brunâtre clair prennent de plus en plus d'extension lorsque l'on observe la séquence de la partie la plus basse jusqu'à la limite d'inondation.

10 - 30 cm

Brun pâle à jaune brunâtre (10 YR 6/3 à 10 YR 5/4) taches irrégulières de 1 à 2 cm dans leurs plus grandes dimensions,

brun jaunâtre à jaune brunâtre (10 YR 5/6 et 10 YR 5/8 à 10 YR 6/6) à contraste distinct et limites plus ou moins nettes ; éléments ferrugineux de forme nodulaire, arrondis, d'un diamètre inférieur à 1 cm et le plus souvent à 5 mm, cortex de même couleur que les taches, intérieur noir ; éléments ferrugineux et taches sont localisés dans les agrégats ; texture argilo-sableuse ; structure polyédrique subanguleuse grossière, nette à surstructure prismatique ; poreux ; porosité interstitielle fine localement réduite par les accumulations d'hydroxydes qui imprègnent les agrégats ; porosité tubulaire orientée plutôt horizontalement ; ces pores tubulaires d'un diamètre supérieur à ceux de l'horizon superficiel ne sont pas gainés d'hydroxydes ; peu cimenté et peu fragile ; racines fines et moyennes ; transition nette avec l'horizon suivant. *Variation latérale* : localement poches brunes très poreuses dues à l'activité des termites.

30 - 60 cm

Brun pâle (10 YR 6/3), nombreuses taches brun jaunâtre (10 YR 5/4 à 10 YR 5/8), semblables à celles de l'horizon précédent ; apparition de plages grises (2,5 Y 5/0 et 2,5 Y 6/0 irrégulières ou en traînées sans orientation particulière qui s'anastomosent quand elles prennent de l'extension ; nombreux éléments ferrugineux de forme nodulaire, de même couleur que les taches, parfois mamelonnée (plusieurs éléments arrondis cimentés) ; quelques concrétions ayant jusqu'à 2 cm de diamètre ; le centre des concrétions est brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3) à auréoles successives jaune brunâtre (10 YR 6/8) brun foncé (7,5 YR 3/2) ; texture argilo-sableuse ; structure prismatique grossière très nette ; peu poreux ; porosité essentiellement tubulaire verticale ; fortement cimenté et non fragile ; quelques racines fines ; transition graduelle. Les *variations latérales* concernent surtout le nombre et les dimensions des éléments ferrugineux de formes nodulaires et des concrétions.

60 - 100 cm

Dans cet horizon, les zones grises dominent, les taches sont souvent localisées sur les faces des prismes et les éléments ferrugineux sont moins nombreux ; il n'y a plus de grosses concrétions ; même texture, structure et porosité que l'horizon précédent.

Les sols de la partie basse de la séquence, présentent la succession d'horizons suivante :

— Horizon superficiel à *gley*.

— Horizon poreux, argilo-sableux, ségrégations (taches, nodules) : *pseudogley*.

— Passage net à un horizon compact argilo-sableux, avec de nombreuses ségrégations : *pseudogley*.

— Passage graduel à un *gley* en profondeur.

On remarque que sur une distance inférieure à 100 mètres et malgré les faibles dénivelées sur la séquence, les trois types de sol décrits présentent des caractères morphologiques très distincts, résumés dans le tableau 3.

Les horizons marqués par des caractères attribués à l'hydromorphie ont été désignés par les termes de *gley* et de *pseudogley*, en accord avec les idées exprimées par de nombreux auteurs ayant étudié les

## PARTIE HAUTE DE LA SEQUENCE

Type d'horizon profondeur	Texture	Structure	Porosité	Taches	Éléments ferrugineux
------------------------------	---------	-----------	----------	--------	-------------------------

humifère non taché 0 à 15 - 20 cm	sableuse	polyédrique subanguleuse moyenne peu nette	assez poreux  pores interstitiels	-	-
--	----------	---	--	---	---

Transition distincte

lessivé peu ou pas taché 15 - 20 cm à 50 - 60 cm	sableuse	polyédrique subanguleuse moyenne peu nette	poreux  pores interstitiels	à partir de 35 cm  rares  limites peu nettes	-
---	----------	---	--------------------------------------	--	---

Transition distincte

pseudogley poreux g <sub>1</sub> 50 - 60 cm à 90 - 100 cm	sablo argileuse	polyédrique subanguleuse grosnière peu nette	poreux  pores interstitiels	irrégulières  limites plus ou moins nettes	rares  de formes nodulaires diamètre inférieur à 5 mm
---	-----------------	---	--------------------------------------	--	---

Transition distincte

pseudogley peu poreux g <sub>2</sub> 90 - 100 cm à 115 - 120 cm	argilo sableuse	prismatique grosnière peu nette à nette  sous structure polyédrique	peu poreux  pores tubulaires	nombreuses irrégulières 1 à 2 cm  limites nettes	formes nodulaires diamètre 0,5 à 1 cm parfois supérieur à 1 cm
---	-----------------	---	---------------------------------------	---	--

Transition graduelle

gley 115 - 120 cm à 150 cm	argilo sableuse	prismatique grosnière nette	peu poreux  pores tubulaires verticaux	irrégulières sur les faces des prismes	rares formes nodulaires diamètre inférieur à 0,5 cm
----------------------------------	-----------------	-----------------------------------	--	--	--

## PARTIE MOYENNE DE LA SEQUENCE

Type d'horizon profondeur	Texture	Structure	Porosité	Taches	Éléments ferrugineux
------------------------------	---------	-----------	----------	--------	-------------------------

gley peu exprimé 0 - 10 cm	sableuse	polyédrique subanguleuse moyenne peu nette	assez poreux à poreux  pores interstitiels quelques pores tubulaires	associées aux vides  arrondies petites, limites plus ou moins nettes	-
----------------------------------	----------	---	---	--	---

Transition distincte

lessivé peu taché 10 à 20 - 30 cm	sableuse à sablo argileuse	polyédrique subanguleuse moyenne peu nette	poreux  pores interstitiels	rares  limites peu nettes	-
--	----------------------------------	---	--------------------------------------	------------------------------------	---

Transition distincte

pseudogley poreux g <sub>1</sub> 20 - 30 à 45 - 65 cm	argilo sableuse	polyédrique subanguleuse grosnière peu nette à nette	poreux  pores interstitiels	imprégnant les agrégats irrégulières 1 à 2 cm limites plus ou moins nettes	formes nodulaires diamètre inférieur à 5 mm
---	-----------------	--	--------------------------------------	--	---

Transition distincte ou nette

pseudogley peu poreux g <sub>2</sub> 45 - 65 cm à 85 cm	argilo sableuse	prismatique grosnière nette	peu poreux  pores tubulaires verticaux	nombreuses mêmes caractères qu'en g <sub>1</sub>	nombreux formes nodulaires diamètre le plus souvent inférieur à 1 cm
---	-----------------	-----------------------------------	--	---	--

Transition graduelle

gley 85 - 120 cm	argilo sableuse	prismatique grosnière nette	peu poreux  pores tubulaires verticaux	irrégulières limites nettes sur les faces des prismes	formes nodulaires diamètre inférieur à 5 mm
---------------------	-----------------	-----------------------------------	--	--	---

## PARTIE BASSE DE LA SEQUENCE

Type d'horizon profondeur	Texture	Structure	Porosité	Taches	Éléments ferrugineux
------------------------------	---------	-----------	----------	--------	-------------------------

gley 0 - 10 cm	sablo argileuse	prismatique grosnière nette  sous structure polyédrique	poreux  pores interstitiels et tubulaires	associées aux vides arrondies formant gaines petites 1 - 3 mm limites nettes	rares nodulaires petits arrondis
-------------------	-----------------	---	---	--	--

Transition distincte

pseudogley poreux g <sub>1</sub> 10 - 30 cm	sablo argileuse	polyédrique subanguleuse grosnière nette  sur structure prismatique	poreux  pores interstitiels et tubulaires	imprégnant les agrégats irrégulières 1 à 2 cm limites plus ou moins nettes	formes nodulaires arrondis diamètre inférieur à 5 mm
--	-----------------	---	---	---	---

Transition nette

pseudogley peu poreux g <sub>2</sub> 30 - 60 cm	argilo sableuse	prismatique grosnière très nette	peu poreux  pores tubulaires verticaux	nombreuses mêmes caractères qu'en g <sub>1</sub>	nombreux formes nodulaires quelques groses concrétions
--	-----------------	--	--	---	---

Transition graduelle

gley 60 - 100 cm	argilo sableuse	prismatique grosnière très nette	peu poreux  pores tubulaires verticaux	sur les faces des prismes	formes nodulaires petits arrondis
---------------------	-----------------	--	--	------------------------------	---

## TABLEAU 3

PRINCIPAUX CARACTÈRES  
MORPHOLOGIQUES DES SOLS

sols hydromorphes et parmi lesquels on peut citer : VYSOTSKIY (1905), LAATSCH et SCHLICHTING (1959), MUCKENHAUSEN (1963), SIUTA (1967). Il ressort, des travaux des auteurs précités et des observations réalisées sur les sols de la séquence de Gole, que le gley et le pseudogley présentent les traits essentiels suivants :

*Le gley* est un horizon où la couleur grise domine (chroma inférieur ou égal à 2). Des taches de couleurs souvent vives et à limites nettes sont associées aux vides (pores, faces d'éléments structuraux, gaines autour des passages de racines).

*Le pseudogley* est un horizon présentant à la fois des taches de couleur vive, souvent en auréoles, des éléments ferrugineux de forme nodulaire ou des concrétions, localisés dans les agrégats dont ils diminuent la porosité et augmentent la cimentation et des trainées grises ou simplement plus claires que la couleur de fond de l'horizon.

Il a paru commode pour distinguer le pseudogley poreux du pseudogley peu poreux, d'utiliser des notations analogues à celles de MUCKENHAUSEN (1963) :  $g_1$  pour le premier,  $g_2$  pour le second.

Les profils décrits, sont représentatifs des sols

observés dans cette partie du Bassin Tchadien (VIZIER et FROMAGET 1970, VIZIER et SAYOL 1970) où lors des travaux de cartographie ils ont été classés en :

— sols à hydromorphie de profondeur lessivés dans les horizons supérieurs, pour le sol de la partie haute de la séquence ;

— sols à hydromorphie d'ensemble, à gley de profondeur pour le sol de la partie moyenne de la séquence ;

et sols à hydromorphie d'ensemble, à gley de surface et de profondeur pour le sol du bas de la séquence.

### 2.2. Organisation des horizons à l'échelle de la séquence

On a constaté, grâce au creusement d'une tranchée et de nombreuses fosses pédologiques sur l'axe de la séquence, que certains horizons (gley, pseudogley) peuvent s'observer, pour certains d'entre eux, sur toute la longueur de la séquence étudiée.

La figure 6 représente l'organisation des horizons à l'échelle de la séquence. Une limite paraît intéres-

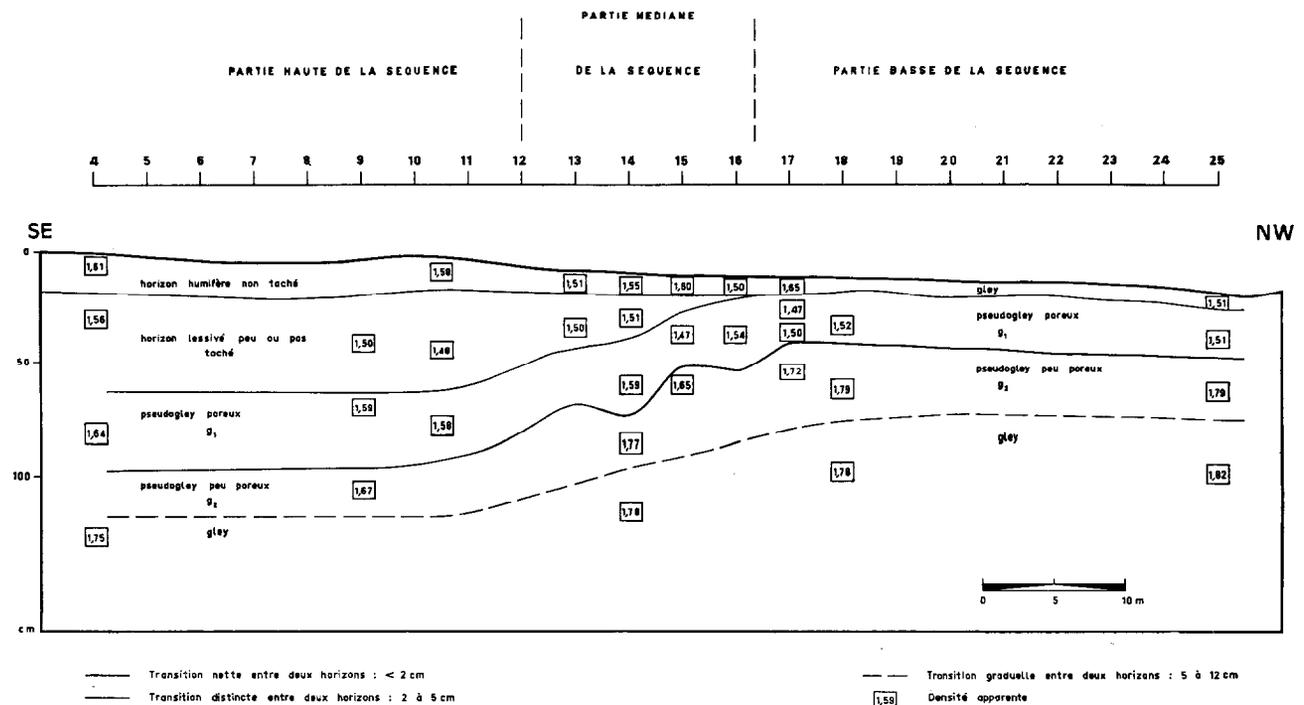


FIG. 6. — Organisation des horizons à l'échelle de la séquence.

sante à considérer, celle du passage des *horizons poreux aux horizons peu poreux*. Parallèle à la surface du sol et peu profonde (30 centimètres) en bas de séquence, cette limite est ondulée dans la partie moyenne et devient plus profonde dans la partie haute (90 à 100 centimètres).

Les valeurs de la densité apparente correspondant aux mesures réalisées *in situ* sur sol sec et qui sont reportées sur la figure 6, confirment les différences de compacité existant entre les horizons superficiels poreux et les horizons profonds peu poreux ; différence et transition qui sont plus nettes en bas qu'en haut de séquence. On verra dans la deuxième partie de cette étude que la superposition de ces deux ensembles d'horizons de porosité différente, joue un rôle déterminant dans la dynamique de l'eau à l'échelle de la séquence.

### 2.3. Données micromorphologiques

Les données micromorphologiques résultent de l'examen d'une trentaine de lames minces (1) réalisées dans des monolithes prélevés dans les différents horizons des sols des trois parties de la séquence.

Ces données sont présentées en deux ensembles. Le premier ensemble est constitué de renseignements fournis par la simple observation des lames minces à la *loupe binoculaire*, ce qui permet de cerner les caractères essentiels de la répartition du fer dans les différents horizons. Le deuxième ensemble des données est obtenu par l'examen des lames minces au *microscope* en lumière naturelle ou polarisée. Les observations sont présentées par type d'horizon (lessivé, pseudogley, gley) pour lesquels on décrit l'assemblage de base et les traits pédologiques remarquables (terminologie de BREWER, 1964 ; in BOCQUIER, 1971).

La comparaison à la loupe binoculaire de lames minces provenant des différents horizons d'un profil (GL 11, par exemple, planche 1), fait ressortir en particulier l'accentuation de la ségrégation du fer dans le sol de l'horizon subsuperficiel peu marqué par l'hydromorphie (photo 1), vers le *pseudogley poreux* (photo 2) et surtout *peu poreux* (photo 3). Dans ce dernier horizon, on observe la juxtaposition de *concrétions* présentant des auréoles de couleurs différentes et d'un fond matriciel riche ou pauvre en fer (zones claires). Dans le *gley de profondeur* (photo 4),

les concrétions sont moins grosses et n'offrent souvent, du fait de l'absence de zonation, qu'un aspect de nodule et si on observe encore des zones pauvres en fer, celles-ci semblent avoir moins d'extension que dans l'horizon précédent.

Si on se reporte aux descriptions morphologiques des sols en place, on constate que les zones claires (brun pâle, gris clair ou gris), allongées, plus ou moins anastomosées des pseudogleys peu poreux d'une part et les larges plages grises de gleys de profondeur d'autre part, présentent en *lames minces*, à l'observation à la loupe, des *aspects différents*. Les premières apparaissent nettement plus pauvres en fer que le reste de l'horizon ainsi que le confirmera l'analyse (tableau 6), tandis que dans les secondes, le fer semble se répartir uniformément.

L'examen des lames minces au *microscope*, en lumière naturelle ou polarisée, permet l'observation des caractères micromorphologiques suivants :

Les *horizons de surface humifères* présentent un assemblage *intertextique* : le plasma fortement organique (opaque en lumière polarisée) forme une masse poreuse peu dense englobant les grains du squelette. Dans les sols de la partie moyenne de la séquence (profil GL 14 : gley peu exprimé), on note un début de liaison fer-matière organique. Ce caractère est nettement plus accentué dans le gley superficiel des sols de la partie basse de la séquence (profil GL 25). La liaison fer-matière organique prend l'aspect d'un *trait pédologique* sous la forme d'*iwatoka* qui constituent des accumulations discontinues de matière organique et d'hydroxyde de fer en bandes plus ou moins horizontales (planche 3, photo 2). On observe également des accumulations discontinues d'hydroxydes gainant les pores tubulaires des racines (planche 3, photo 1) ou en *glaebules* (planche 3, photo 3) ; les hydroxydes de fer apparaissent toujours peu biréfringents en lumière polarisée.

— Les *horizons lessivés*, sableux, peu tachés, poreux, à structure peu nette des sols de la partie haute de la séquence (entre 30 et 60 cm de profondeur), présentent un assemblage *granulaire* : le plasma brun-jaune peu abondant est essentiellement sous forme de cutanes autour des grains du squelette ; les vides sont nombreux (planche 2, photo 1, partie gauche). Au niveau des quelques taches de couleur jaune rougeâtre que présente ce type d'horizon, l'assemblage est plutôt *intertextique* : on note des ponts intergranulaires de plasma brun-jaune floconneux à globules qui peuvent être interprétés comme des accumulations discontinues d'argile et peut-être de fer, tendant à

(1) Réalisées par M. FROMAGET au Centre ORSTOM de N'Djaména.

cimenter le squelette quartzeux (planche 2, photo 1, centre de la photographie). Dans les parties moyenne et basse de la séquence, ce type d'assemblage de base n'existe pas ; on passe en effet sous l'horizon humifère directement à un horizon poreux à pseudogley.

— Les horizons poreux à pseudogley, sablo-argileux à argilo-sableux, présentent un assemblage *intertextique*. Le plasma est plus dense au niveau des taches et de couleur jaune-rouge à globules plus bruns. Dans la partie basse de la séquence, ce type d'horizon (entre 10 et 30 cm de profondeur) a un aspect un peu différent : le plasma floconneux est plus terne (gris-jaune), ce qui correspond vraisemblablement à un début de *déferfification* du mélange d'argile et d'hydroxydes (BOCQUIER, 1971). On observe encore localement des liaisons fer-matière organique, cependant moins nettes que dans le gley de surface, ainsi que de petits glaeboles d'hydroxydes peu biréfringents en lumière polarisée.

Les horizons peu poreux à pseudogley, argilo-sableux, présentent un assemblage *intertextique*. Les vides sont cependant moins abondants que dans les horizons sus-jacents. Le plasma est jaune clair à gris et apparaît peu riche en hydroxydes. La *déferfification* mentionnée précédemment serait plus accentuée. Les nodules d'hydroxydes de fer brun-rouge foncé sont souvent entourés d'un fond matriciel également très riche en fer (planche 2, photo 2). Les concrétions ont un assemblage de base du type *porphyrosquelique* : le plasma est dense, les vides sont rares et de forme sphérique. On note une différence de couleur entre le centre des concrétions (brun-rouge foncé) et la partie externe (jaune-rouge) (planche 2, photo 3). On remarque dans ce type d'horizon une *accumulation distincte de l'argile* (plasma jaune clair à gris plus dense que dans les horizons sus-jacents mais encore poreux : zones claires) et des *hydroxydes* (nodules ou concrétions).

Les horizons profonds à gley présentent un assemblage *aggloméroplasmique* : le plasma est dense, jaune-gris avec de petits globules d'hydroxydes brun-noir uniformément répartis. Les vides peu nombreux sont allongés et verticaux (pores tubulaires). Dans les sols de la partie haute de la séquence surtout, on observe localement associées à des fentes d'origine structurale, des accumulations discontinues de fer (ferrane) ou de fer et d'argile (ferriargilane). Les glaeboles d'hydroxydes sont soit des concrétions qui semblent parfois en voie de destruction, entourées d'une trainée de fer diffus (haut de séquence : profil GL 11, planche 2, photo 4), soit de petits nodules d'hydroxydes microcristallisés « noyés » dans un fond matriciel uniformément riche en fer (bas de séquence :

profil GL 25, planche 2, photo 5). Le gley de profondeur apparaît comme un horizon d'*accumulation d'argile* (plasma dense) où le fer, contrairement à ce que l'on a observé dans les pseudogleys peu poreux, est *mêlé à l'argile tout en restant « individualisé »*

Ces données micromorphologiques, qui sont complétées dans un autre chapitre par des analyses réalisées sur des « détails morphologiques » (taches, nodules...), constituent des arguments pour la formulation des hypothèses qui seront faites sur l'évolution et la formation des sols de la séquence.

### 3. CARACTÈRES ANALYTIQUES DES SOLS

Les résultats d'analyses courantes réalisées sur des échantillons prélevés dans les profils GL 4, GL 9, GL 14, GL 18 et GL 25 sont présentés en annexe.

Les données analytiques exposées dans ce chapitre concernent des caractéristiques des sols qui ont une influence :

— sur la dynamique de l'eau ; c'est en particulier la granulométrie et surtout la teneur en argile qui sera reliée à la compacité ;

— sur la dynamique du fer ; il s'agit de la matière organique et du pH qui jouent un rôle dans le développement des phénomènes de réduction dans les sols saturés par l'eau.

On étudie enfin la répartition du fer dans les sols, sous différentes formes (fer total, amorphe) et le concrétionnement.

On a adopté deux modes de représentation pour figurer la répartition dans l'espace de ces différentes caractéristiques analytiques :

— l'échelle du profil pour l'argile et la matière organique,

— l'échelle de la séquence pour l'argile, le pH, le fer total, amorphe et le concrétionnement.

#### 3.1. Granulométrie

L'étude granulométrique de la fraction sableuse (50  $\mu$  - 2 mm) a permis de constater que le matériau sur lequel se différencient les sols est homogène et ne présente aucune discontinuité sédimentaire.

La fraction limoneuse ( $2 - 50 \mu$ ) varie peu dans chaque profil. Elle représente 9,1 à 10,7 % de la terre fine en haut de séquence (GL 4) ; 15,9 à 18,6 % en bas de séquence (GL 25).

La teneur en argile augmente dans les sols, de la

surface vers la profondeur et de la partie haute vers la partie basse de la séquence.

La texture est par conséquent d'autant plus fine que l'on considère un sol situé en position plus basse sur la séquence et un horizon plus profond (voir fig. 7).

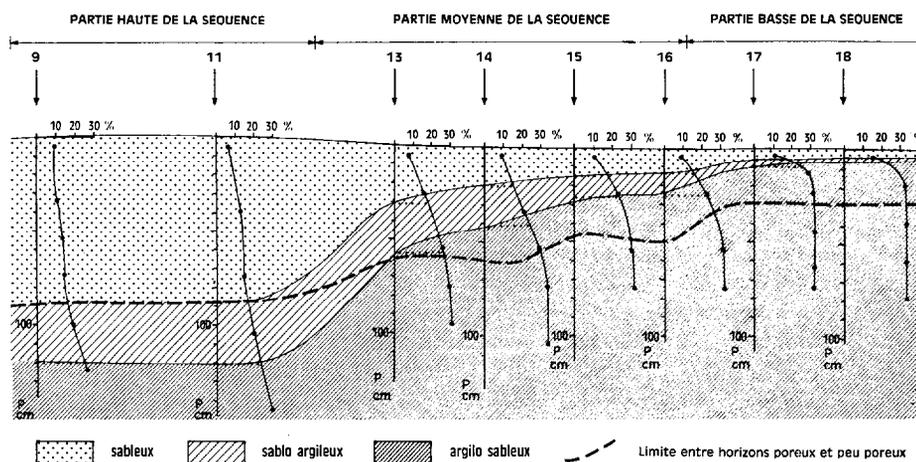


FIG. 7. — Les différentes textures et évolution, le long de la séquence, de la forme des courbes représentant les variations de la teneur en argile en fonction de la profondeur.

La figure 7 représente les variations de la teneur en argile en fonction de la profondeur dans chaque profil de GL 9 à GL 18, dont on déduit la répartition sur la séquence des horizons à texture sableuse (moins de 17,5 % d'argile), sablo-argileuse (17,5 à 25 % d'argile) et argilo-sableuse (25 à 40 % d'argile). On a également reporté sur cette figure la limite existant entre l'ensemble des horizons superficiels poreux et celui des horizons profonds peu poreux.

On constate que les horizons sableux sont très développés en *haut de séquence* en relation avec le caractère lessivé des horizons supérieurs. L'apparition de la compacité en profondeur est en *concordance* avec le passage à une texture plus fine (horizons d'accumulation) et coïncide avec un point d'inflexion de la courbe figurant la teneur en argile en fonction de la profondeur.

Dans la *partie moyenne* de la séquence, les horizons sableux sont moins épais, ce qui confirme le caractère moins lessivé en argile des horizons superficiels. Les teneurs en argile augmentent régulièrement de la surface à la base des horizons poreux, puis restent constantes dans les horizons peu poreux.

Dans la *partie basse* de la séquence, les horizons sableux ou sablo-argileux ne représentent qu'une faible épaisseur. On remarque qu'il y a *discordance* entre l'augmentation des teneurs en argile et le passage des horizons poreux aux horizons peu poreux. Cette discordance est à mettre en relation avec les phénomènes de gonflement et de tassement qui se produisent dans ces profils, phénomènes qui seront évoqués dans la deuxième partie de cette étude.

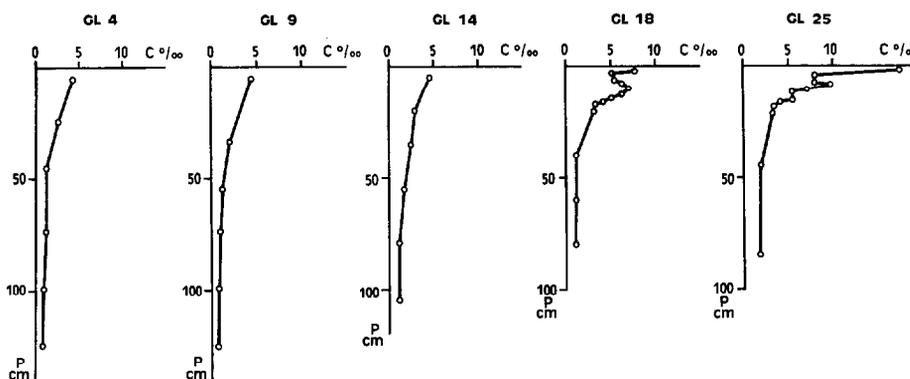
### 3.2. La matière organique

Dès 1905, VYSOTSKIY attribuait un rôle déterminant à la matière organique des sols dans le développement des phénomènes de réduction du fer. Ce rôle a été confirmé par de nombreux auteurs parmi lesquels on peut citer : MOTOMURA (1962), RODRIGO et POLLARD (1962), TAKAI, KOYAMA et KAMURA (1963), MEEK, Mc KENZIE et GRASS (1968).. L'effet favorable de la matière organique sur la réduction du fer a également été souligné dans l'interprétation des résultats obtenus lors d'expérimentations réalisées sur des monolithes

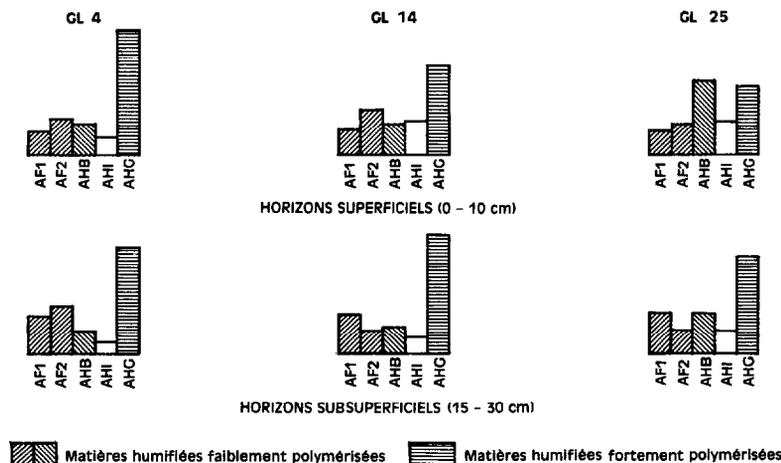
prélevés dans les sols de la séquence de Gole (VIZIER, 1970, voir 2° partie, paragraphe 2.3.1.1.). D'autres travaux ont précisé le rôle de différents produits organiques dans le phénomène de migration du fer qui se produit à la suite de la formation de complexes (KAURICHEV, KULAKOV et NOZDRUNOVA, 1958 ; D'YAKONOVA, 1962...). Il est donc intéressant de connaître, en vue de l'étude de la dynamique du fer, les quantités et qualités de la matière organique présente dans les sols de la séquence.

La plus grande richesse en matière organique des

horizons superficiels des profils de la partie basse de la séquence apparaît nettement sur les courbes représentant les variations de la teneur en carbone organique en fonction de la profondeur (figure 8). Les teneurs en carbone sont inférieures à 2 ‰ à partir de 40 à 50 cm de profondeur, sauf dans le profil du bas de la séquence où la constance des quantités de carbone dosées entre 40 et 100 cm peut être attribuée à un entraînement de matière organique dissoute de la surface du sol dans les fentes de retrait lors des premières précipitations de la saison des pluies (SIUTA, 1967).



Répartition du carbone organique dans les sols de la séquence



Représentation par histogrammes des pourcentages des différentes fractions humifiées des horizons superficiels ou subsuperficiels des sols de la séquence.

FIG. 8. — La matière organique dans les sols de la séquence.

Une étude des différentes fractions humifiées (DABIN, 1971) et des acides humiques par électrophorèse (DABIN et THOMANN, 1970) a été réalisée sur des échantillons prélevés dans des horizons superficiels (0 -

10 cm) et subsuperficiels (15 - 30 cm) de profils des parties haute (GL 4), moyenne (GL 14) et basse (GL 25) de la séquence. Les teneurs des différentes fractions sont exprimées en C ‰.

Le « taux d'humification », pourcentage du taux de carbone des matières humifiées (MHT) par rapport à celui de la matière organique totale (MOT) est plus élevé dans les horizons superficiels des parties haute et moyenne de la séquence : 34 à 36 % que dans la partie basse : 28 %. La différence est moins sensible dans les horizons subsuperficiels (42 à 46 %).

On a distingué 5 fractions de matières humifiées (voir figure 8) :

AF 1 : acides fulviques extraits par  $\text{PO}_4\text{H}_3$ , 2M  
 AF 2 : acides fulviques restants extraits par  $\text{P}_2\text{O}_7$   
 $\text{Na}_4$ , M/10 et NaOH, M/10  
 AHB : acides humiques bruns  
 AHI : acides humiques intermédiaires  
 AHG : acides humiques gris.

Les trois dernières fractions sont séparées par électrophorèse (1).

TABLEAU 4

Horizon	Profil	$\frac{\text{C } \text{‰} \text{ MHT}}{\text{C } \text{‰} \text{ MOT}} \%$ Taux d'humification	% par rapport à C ‰ de MHT de	
			C ‰ AHG	C ‰ (AF+AHB)
Horizons superficiels 0 - 10 cm	GL 4	34	55	38
	GL 14	36	39	45
	GL 25	28	30	56
Horizons sub-superficiels 15 - 30 cm	GL 4	45	48	47
	GL 14	46	53	40
	GL 25	42	44	46

Si pour les horizons subsuperficiels, les différences existant entre les 3 profils sont peu sensibles, il n'est pas de même pour les horizons superficiels (tableau 4 et figure 8).

Les acides humiques fortement polymérisés (AHG) dominent nettement dans la partie haute de la séquence. Par contre si l'on considère la somme des fractions humifiées peu polymérisées (AF 1 + AF 2 + AHB), on constate qu'elle est d'autant plus forte que le profil est situé dans une position plus basse sur la séquence.

Les quantités et qualités différentes des matières organiques et humifiées des sols de la séquence, seront par ailleurs reliées au régime hydrique et à la réaction du milieu (voir 2<sup>e</sup> partie, paragraphe 2.6.).

### 3.3. Le pH des sols

La connaissance du pH du sol est, dans l'étude entreprise, utile pour deux raisons :

— d'une part, parce que la réduction du fer est favorisée par un pH de sol acide (MATSUO, GOTOH, SAKURAI, 1962) ;

— d'autre part, parce que les complexes organo-métalliques (avec le fer en particulier) qui sont susceptibles de se former, ont la possibilité de migrer quand le milieu est acide tandis qu'ils précipitent quand le pH atteint une valeur plus élevée correspondant au point isoélectrique (DUCHAUFOR, 1968).

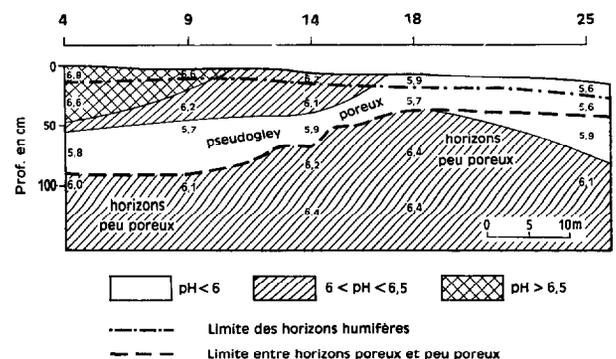
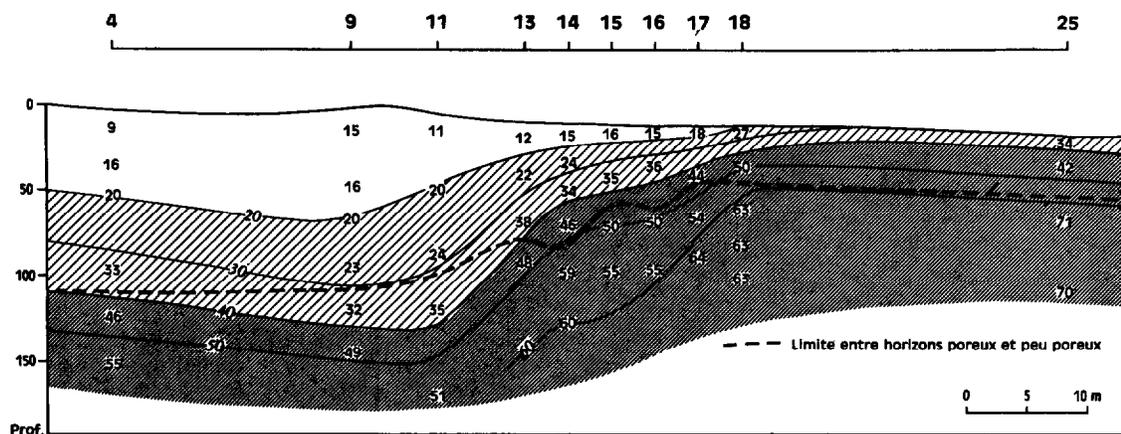
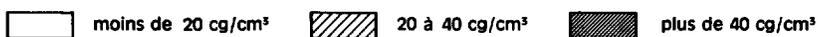


FIG. 9. — Le pH dans les sols de la séquence.

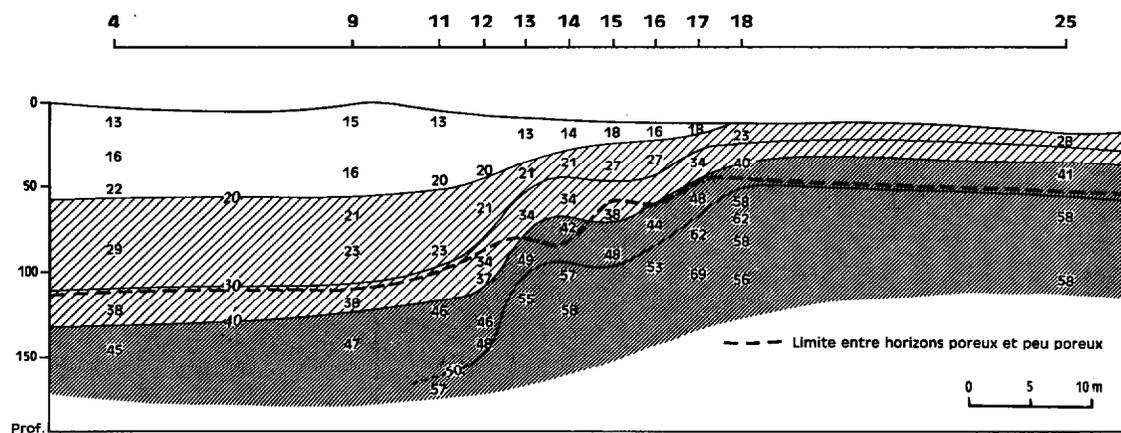
(1) Electrophorèse effectuée à partir d'un extrait provenant de la solubilisation de l'humus par  $\text{P}_2\text{O}_7\text{Na}_4$  - M/10, solvant : NaOH - 1N, temps de migration : 3 heures.



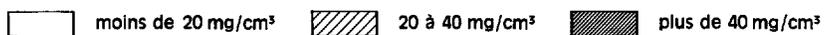
Les nombres indiquent la teneur en argile en centigrammes par centimètres cubes



REPARTITION DE L'ARGILE DANS LA SEQUENCE



Les nombres indiquent la teneur en fer total en milligrammes par centimètres cubes



REPARTITION DU FER TOTAL DANS LA SEQUENCE

FIG. 10. — Comparaison de la répartition du fer total et de l'argile dans la séquence.

Dans la séquence étudiée, le pH présente dans chaque profil une valeur minimale dans le *pseudogley poreux*. On constate que cet horizon a toujours un pH inférieur à 6 (voir figure 9).

Dans les *horizons humifères*, les valeurs du pH diminuent de la partie haute de la séquence : 6,8 vers la partie basse : 5,6.

En profondeur, dans le *gley*, le pH est toujours supérieur à 6 ainsi que dans le *pseudogley peu poreux* de la partie haute de la séquence et de la partie moyenne dans laquelle on observe les plus fortes valeurs (jusqu'à 6,4).

### 3.4. Le fer

#### 3.4.1. RÉPARTITION DU FER TOTAL

L'étude morphologique des sols a fait apparaître une organisation des horizons qui peut être considérée comme normale pour le « milieu de pédogenèse » et « la région climatique » dans lesquels se situe la séquence (LAMOUROUX, 1972). On passe en effet sur une courte distance de sols ayant des horizons supérieurs lessivés en argile, poreux et assez épais dans la partie haute de la séquence, à des sols à drainage

vertical ralenti par la compacité des horizons profonds (milieu et surtout bas de séquence). Cette organisation est confirmée par la répartition de l'argile et la présence de deux ensembles d'horizons poreux et peu poreux dans la séquence. Mais l'étude morphologique a permis de souligner également la présence de ségrégations de couleur : taches, nodules, concrétions, qui correspondent à des accumulations d'hydroxydes de fer. L'examen microscopique de lames minces a précisé que cette accumulation de fer est, dans certains types d'horizons (*pseudogley peu poreux* surtout), distincte de celle de l'argile. Il est donc intéressant d'étudier la répartition du fer dans la séquence en la comparant à celle de l'argile.

La figure 10 représente deux schémas ; le premier donne la répartition de l'argile, le second celle du fer total (1). Dans les deux cas, grâce à la connaissance des valeurs de la densité apparente déterminée sur sol sec (voir figure 6), on a adopté une expression volumique des teneurs (centigramme d'argile et milligramme de fer par centimètre cube de sol).

On peut constater que, comme pour l'argile, les teneurs en fer total augmentent dans les sols de la surface vers la profondeur et de la partie haute vers la partie basse de la séquence. Cependant une différence assez sensible apparaît entre les profils GL 12 et GL 17, au niveau des horizons à *pseudogley*, où il semble y avoir une translation vers le haut de la séquence des

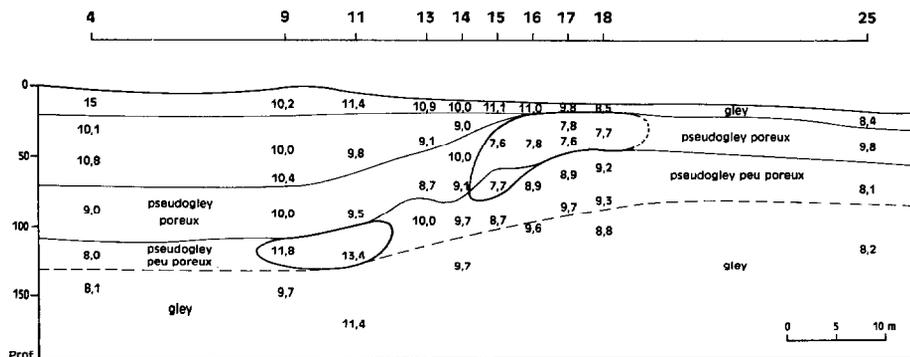


FIG. 11. — Valeur du rapport fer/argile dans les sols de la séquence. Les nombres correspondent à la valeur du rapport Fe/argile exprimée en pour cent.

zones à teneurs plus fortes en fer et qui forment une ondulation.

Les différences existant entre les répartitions du fer et de l'argile peuvent être précisées par le calcul du rapport fer total/argile. Les valeurs de ce rapport, données sur la figure 11, sont généralement comprises entre 8 et 11 %, mais on constate la présence :

— d'une zone où le rapport est plus faible (moins de 8 %), horizon à *pseudogley poreux* des sols situés à la limite des parties basse et moyenne de la séquence ;

(1) Le fer total est dosé par le bichromate de potassium, après attaque chlorhydrique à chaud et réduction par le chlorure stanneux.

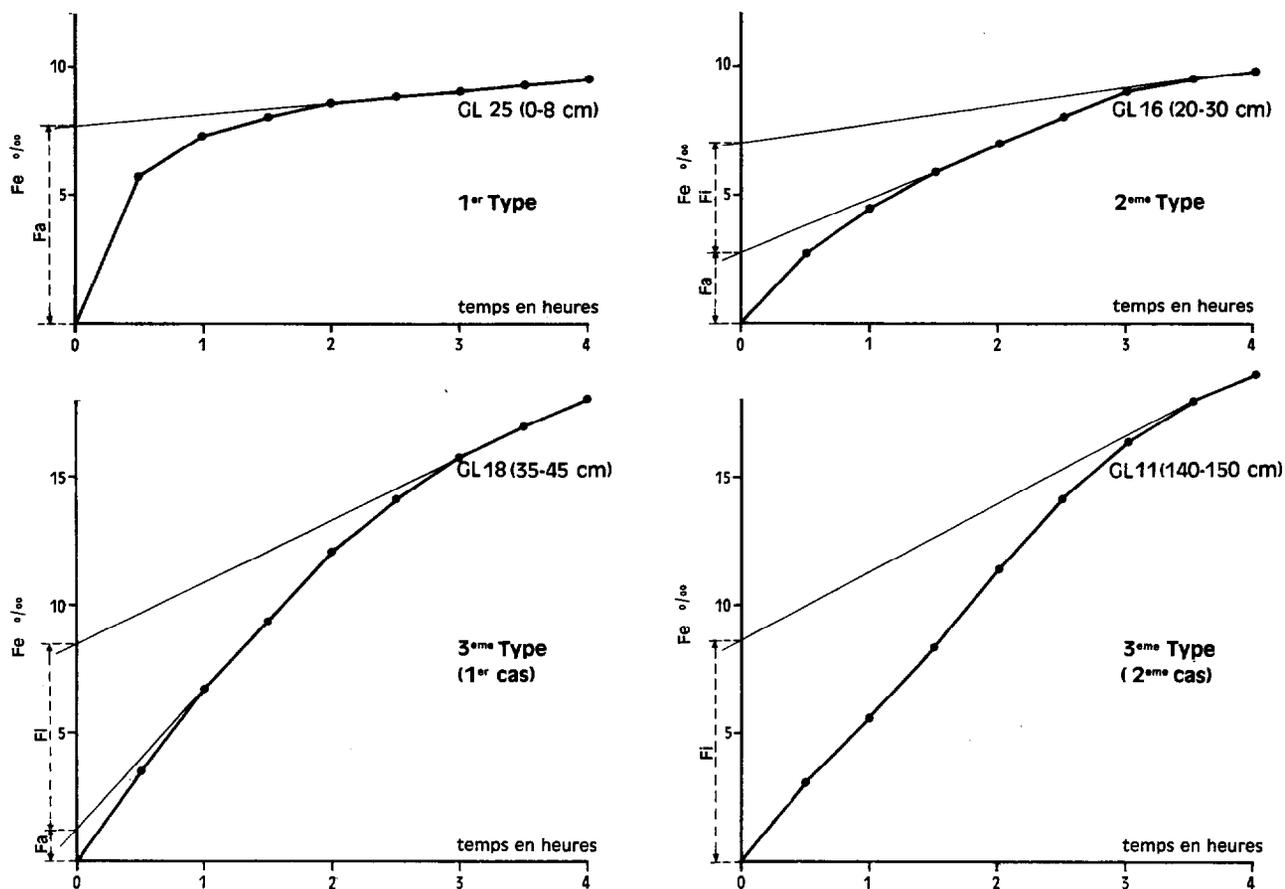


FIG. 12. — Fer amorphe. Différents types de courbes cumulatives de fer extrait.

— d'une zone où le rapport est supérieur à 11,5 %, horizon à pseudogley peu poreux de sols de la partie haute de la séquence.

Ces zones apparaissent donc pas rapport à leur teneur en argile, relativement *appauvrie en fer* pour la première et *enrichie en fer* pour la seconde.

### 3.4.2. LE FER AMORPHE

Après avoir étudié la répartition du fer total dans la séquence, on a cherché à préciser les différentes formes sous lesquelles se trouve cet élément dans les profils.

Le fer amorphe a été déterminé par la méthode de SÉGALEN (1968), c'est-à-dire à partir des résultats de 8 extractions successives par l'acide chlorhydrique 8N d'une durée d'une demi-heure chacune.

Les courbes cumulatives du fer extrait en fonction du temps ne présentent pas toutes la même forme pour les échantillons prélevés dans les sols de la séquence (1). Elles peuvent se rattacher à trois types différents (voir figure 12).

Le premier type de courbe, le plus fréquemment observé, indique qu'après les deux ou trois premières extractions, on obtient la quasi-totalité du fer extrait en quatre heures. La pente de la courbe est d'abord très forte puis les points s'alignent formant une branche peu inclinée dont la prolongation vers l'axe des ordonnées permet d'estimer la teneur en fer amorphe.

(1) Prélèvements effectués *in situ* à la fin de la saison sèche. Le dosage a été réalisé sur la terre totale, c'est-à-dire la terre fine plus les concrétions réduites par broyage à des dimensions inférieures à 2 millimètres.

Après une partie de courbe à pente assez forte correspondant aux deux premières extractions, la deuxième type de courbe présente deux alignements de points différents. Sur des courbes d'allure semblable, NALOVIC et HUMBEL (1971) déterminent la teneur en « fer amorphe » par le premier alignement et une forme de fer différente moins facilement extractible : « le fer intermédiaire », par le deuxième alignement de points.

Avec le troisième type de courbe, on peut observer deux cas :

1<sup>er</sup> cas : Comme dans le deuxième type de courbe, on a deux alignements de points, mais à fortes pentes ; on peut déterminer encore le « fer amorphe » et le « fer intermédiaire ».

2<sup>e</sup> cas : On a un alignement de points de la première à la sixième extraction, dû vraisemblablement à la présence d'une forme de fer ayant une facilité d'extraction régulière, puis un léger infléchissement de la courbe ; on ne peut dans ce cas estimer que la teneur

en « fer intermédiaire » étant donné que le premier alignement passe par l'origine. Le troisième type de courbe est obtenu avec des échantillons ayant peu ou pas de « fer amorphe » et de faibles quantités de « fer intermédiaire ».

Le report des quantités cumulées de fer extrait en fonction du temps a pour but de permettre la détermination graphique de la teneur en fer amorphe, par le tracé de la tangente. Ce tracé n'est pas toujours facile à faire suivant le type de courbe que l'on obtient. Il peut donc y avoir une incertitude sur la valeur de la teneur en fer amorphe ainsi déterminée. Par contre, la forme de la courbe est caractéristique du comportement de l'échantillon au traitement qu'il subit ; c'est à ce titre que l'on a préféré rechercher d'abord des critères permettant de classer les types de courbes autrement que par l'allure générale, ce qui est dans certains cas un peu trop subjectif, avant de chercher la relation existant entre ces différents types et la valeur des teneurs en fer « amorphe » ou « intermédiaire » par rapport à celles en fer total.

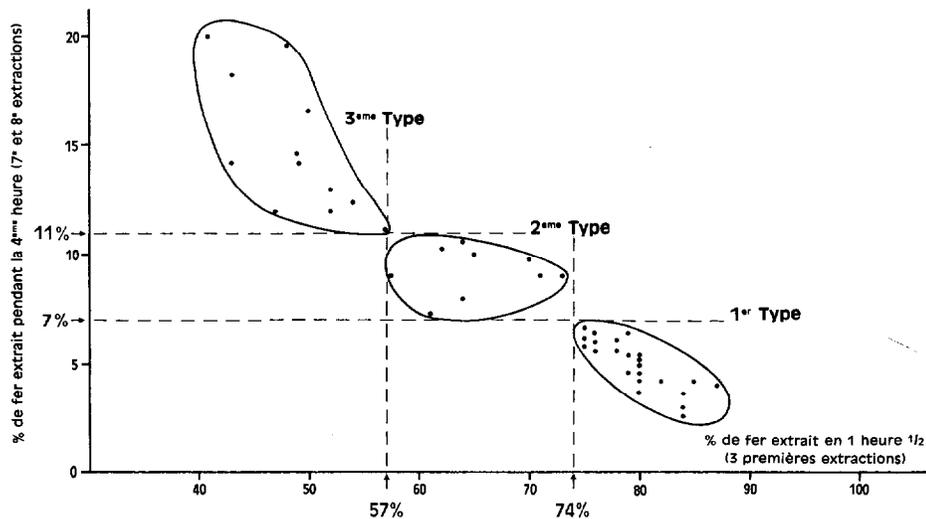


FIG. 13. — Autre mode de représentation permettant de différencier les 3 types de courbes cumulatives d'extraction du fer amorphe.

On a reporté sur deux axes de coordonnées (voir figure 13), les points correspondant pour chaque échantillon, aux pourcentages calculés par rapport à la quantité totale de fer extraite au bout de quatre heures :

— du fer extrait au cours des trois premières

opérations, soit après une heure et demie, valeur qui donne l'importance des produits à dissolution rapide (porté en abscisse),

— du fer extrait lors des deux dernières opérations, c'est-à-dire pendant la quatrième heure ; ce pourcentage sera d'autant plus élevé qu'il y aura plus de produits relativement résistants à ce mode d'extrac-

tion ; la pente de la droite permettant l'estimation graphique des produits amorphes sera forte, produits dont la teneur sera donc faible (porté en ordonnée).

On constate que les points ainsi reportés peuvent être regroupés en trois ensembles qui correspondent aux trois types de courbe d'extraction.

TABLEAU 5

	% de fer extrait en 1 heure 1/2	% de fer extrait pendant la 4 <sup>e</sup> heure	% par rapport au fer total
1 <sup>er</sup> type .....	plus de 74 %	moins de 7 %	plus de 40 % de fer amorphe pas de fer intermédiaire
2 <sup>e</sup> type .....	entre 57 et 74 %	entre 7 et 11 %	10 à 25 % de fer amorphe 25 à 40 % de « fer amorphe + intermédiaire »
3 <sup>e</sup> type .....	moins de 57 %	plus de 11 %	moins de 10 % de fer amorphe moins de 35 % de « fer amorphe + intermédiaire ».

Etant donné la difficulté qu'il y a à classer de tels résultats en vue de regrouper à l'échelle de la séquence des zones dans lesquelles les échantillons de sol présentent un comportement voisin lors de l'analyse du fer amorphe, on a retenu cette classification en trois types (voir figure 14). On remarque en effet qu'aux allures de courbes différentes, correspondent des pourcentages de produits « amorphes » ou « intermédiaires » par rapport au fer total, dont les valeurs sont décroissantes du premier au troisième type (valeurs, dont les extrêmes sont donnés dans le tableau 5).

La figure 14 comprend deux schémas :

— le premier indique la répartition sur la séquence des échantillons ayant donné des courbes d'extraction du premier, deuxième ou troisième type, ainsi que le pourcentage de « fer amorphe » et de « fer amorphe + intermédiaire » par rapport au fer total ;

— le deuxième schéma offre une représentation de la répartition des teneurs volumiques (en mg de Fe/cm<sup>3</sup>), du « fer amorphe » et « fer amorphe + intermédiaire ».

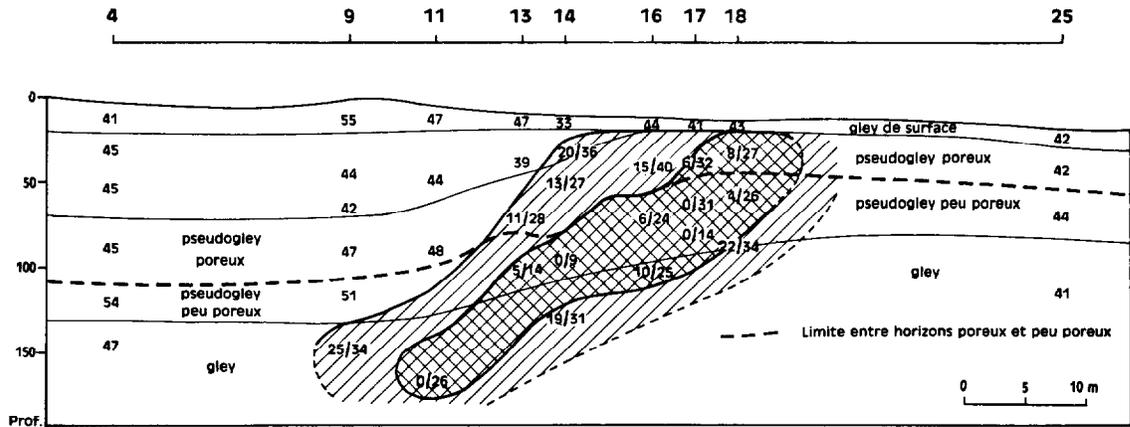
On constate (premier schéma) que les échantillons donnant des courbes d'extraction du deuxième et troisième type sont concentrés dans la partie moyenne de la séquence autour d'un axe qui va de l'horizon à pseudogley poreux de GL 18 vers les horizons peu poreux profonds de GL 11. D'où la délimitation d'une zone dans laquelle on aurait des formes de fer

présentant des facilités d'extraction différentes, correspondant à des intermédiaires entre produits amorphes et cristallisés, alors que pour tout le reste de la séquence on a une part comprise entre 41 et 55 % du fer total qui est amorphe.

Le deuxième schéma fait ressortir une zone pauvre en fer amorphe, correspondant aux horizons à pseudogley peu poreux de la partie moyenne de la séquence. Cette représentation apparaît sensiblement différente de celle de la répartition du fer total. A l'allure qu'offre cette dernière, à savoir que les teneurs augmentent de la surface des profils vers la profondeur et de la partie haute vers la partie basse de la séquence, se superpose une organisation de zones pauvres en fer amorphe autour de l'axe précédemment défini.

### 3.4.3. CONCRÉTIONNEMENT

Sur les prélèvements faits in situ en saison sèche et destinés à la mesure de la densité apparente, on a, après avoir déterminé le volume de l'échantillon (méthode par jaugeage avec du sable) et pesé la terre sèche, effectué un tamisage sous l'eau afin de recueillir les concrétions ou nodules ferrugineux d'un diamètre supérieur à 2 mm. Ces concrétions sont ensuite séchées et pesées. On obtient ainsi pour chaque échantillon le poids de « concrétions » pour un poids ou un volume de terre connu. Cette méthode permet de mieux situer le maximum de concrétionnement dans la séquence, la simple observation des profils étant un peu trop subjective.

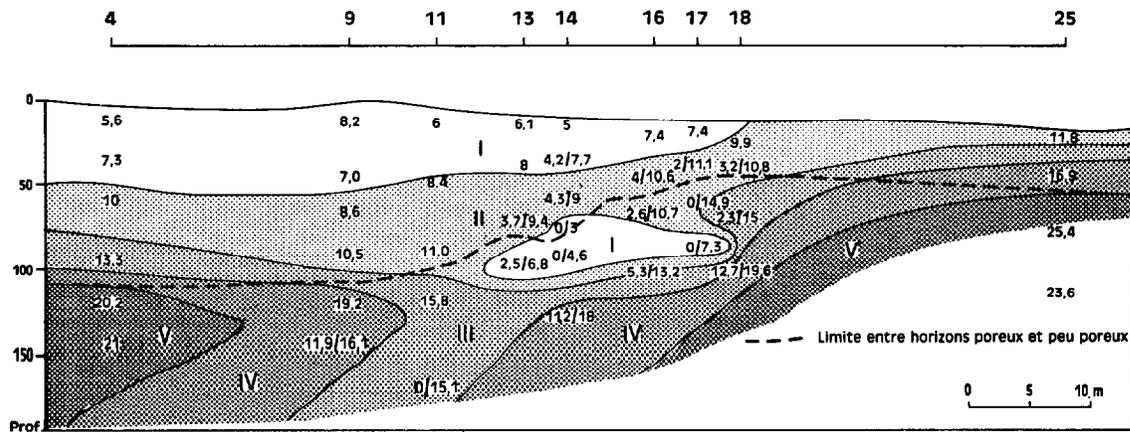


REPARTITION DES ECHANTILLONS AYANT DONNE DIFFERENTS TYPES DE COURBES D'EXTRACTION

1<sup>er</sup> Type    
  2<sup>ème</sup> Type    
  3<sup>ème</sup> Type

Pourcentages de "fer amorphe" et de "fer intermédiaire" (Fa et Fi) par rapport au fer total

notation : 41 = % de Fa par rapport au fer total    
  $\frac{25}{35} = \frac{\% \text{ de Fa par rapport au fer total}}{\% \text{ de (Fa + Fi) par rapport au fer total}}$



REPARTITION DU FER AMORPHE

Teneurs volumiques de "fer amorphe" et de "fer intermédiaire" en mg de Fe/cm<sup>3</sup>

I moins de 8    
  II 8 à 12    
  III 12 à 16    
  IV 16 à 20    
  V plus de 20

notation : 5,6 = teneur en fer amorphe    
  $\frac{11,9}{16,1} = \frac{\text{teneur en fer amorphe}}{\text{teneur en "fer amorphe + fer intermédiaire"}}$

FIG. 14. — Le fer amorphe dans les sols de la séquence.

Le report, sur la figure 15, du poids de concrétions en milligrammes par centimètre cube de sol en place pour les différents échantillons ainsi prélevés, met en évidence une zone à fort concrétionnement (plus de

30 mg/cm<sup>3</sup>) dans la séquence, qui se superpose à celle pour laquelle les échantillons présentent des courbes d'extraction du troisième type pour la détermination des produits amorphes.

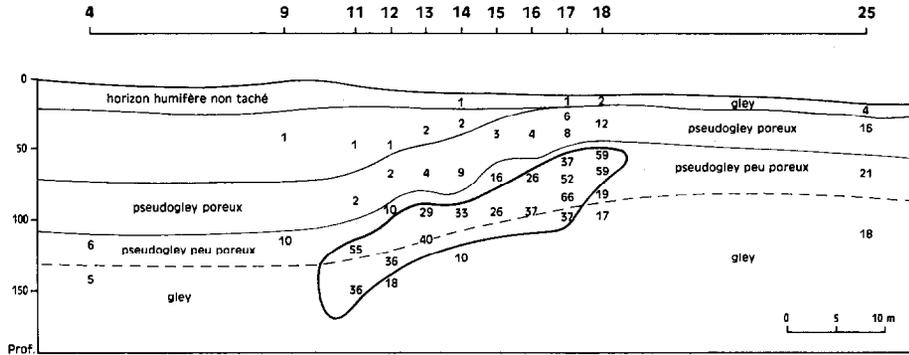


FIG. 15. — Le concrétionnement dans les sols de la séquence. Les chiffres correspondent au poids de concrétions exprimé en milligrammes par centimètres cubes.

#### 4. CONCLUSIONS SUR L'ÉTUDE DES CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET ANALYTIQUES DES SOLS DE LA SÉQUENCE

L'étude morphologique des sols a permis de constater une certaine organisation des horizons aussi bien dans chaque profil qu'à l'échelle de la séquence.

Dans l'étude des caractères analytiques des sols, les variations des teneurs en argile, carbone organique, fer, ou celles des valeurs du pH qui ont été observées, correspondent aux résultats obtenus par des analyses faites sur des prises de terre provenant d'un échantillon de 2 kg environ, homogénéisé en laboratoire, prélevé dans l'horizon d'un profil, échantillon que l'on estime représentatif de l'horizon. L'unité d'étude de base a donc été l'horizon du profil. On s'est placé à une échelle qui s'est avérée intéressante, puisqu'elle a permis de mettre en évidence différentes organisations sur la séquence.

L'organisation la plus simple est celle correspondant aux variations de la teneur en argile dans les sols. On observe en effet une augmentation de ces teneurs à la fois de la surface des profils vers la profondeur et de la partie haute vers la partie basse de la séquence.

Pour la porosité, si l'on considère l'ensemble des horizons superficiels poreux et l'ensemble des horizons

profonds peu poreux, on remarque une nette discordance avec l'organisation précédente, dans la partie basse de la séquence.

Pour le fer total, la différence, par rapport à la répartition de l'argile, se manifeste dans la partie médiane de la séquence ; il semble y avoir une translation des zones les plus riches en fer vers les horizons profonds de l'amont de la séquence. Cette différence est confirmée par la présence d'horizons qui apparaissent enrichis ou appauvris en fer, par rapport à leur teneur en argile.

L'organisation la plus complexe est celle de la répartition du fer amorphe qui se présente comme la résultante de deux composantes : celle correspondant à la répartition du fer total et celle qui se traduit par de faibles teneurs en fer amorphe autour d'un axe le long duquel se situe également le maximum de concrétionnement.

Telles sont les organisations et les répartitions de différentes caractéristiques analytiques des sols à l'échelle de la séquence qui apparaissent à l'issue de cette première partie, répartitions que l'on tentera d'expliquer par l'étude de la dynamique actuelle de l'eau et du fer.

Mais l'observation in situ des horizons marqués par l'hydromorphie présentant un ensemble de petits éléments morphologiquement différents (zones claires,

taches, concrétions...) et l'examen microscopique de lames minces suggèrent qu'il y a à l'échelle de ces « détails morphologiques », au sein d'un même horizon, des variations, en fer par exemple, beaucoup plus importantes que celles mises en évidence sur la séquence à l'échelle de l'horizon du profil.

On a séparé, sur des prélèvements effectués dans les horizons à pseudogley poreux et peu poreux d'un profil de la partie moyenne de la séquence : les zones claires, les taches, les concrétions. On a dosé le carbone organique et le fer sur les différentes fractions ainsi obtenues (tableau 6).

TABLEAU 6

		Couleur Munsell après séchage et broyage	Carbone organique (C ‰)	Fer total (Fe ‰)
Horizon pseudogley poreux 40 - 50 cm	Zones claires	10 YR 7/4 brun très pâle	2,04	20,6
	Taches	10 YR 6,5/4 brun jaunâtre clair	2,25	27,7
	Taches	7,5 YR 6/6 jaune rougeâtre	1,56	31,2
	Éléments indurés de forme nodulaire	10 YR 5/3 brun	0,64	68,5
	Echantillon représentatif de l'horizon	10 YR 5,5/4 brun jaunâtre clair	2,0	23,0
Horizon pseudogley peu poreux 70 - 80 cm	Zones claires	10 YR 7/3 brun très pâle	1,36	18,6
	Taches	7,5 YR 5,5/6 jaune rougeâtre	0,76	48,0
	Concrétions	10 YR 3/3 brun foncé	0	169,0
	Echantillon représentatif de l'horizon	10 YR 5,5/4 brun jaunâtre clair	1,28	32,3

On constate que les horizons marqués par l'hydromorphie présentent une juxtaposition d'éléments morphologiques distincts ayant des teneurs en fer total et en carbone organique très différentes. Ainsi les variations sont très fortes sur de faibles distances et la teneur moyenne de l'horizon dont on a seulement tenu compte dans l'étude analytique précédente (échantillon représentatif de l'horizon), n'est que la moyenne pondérée des teneurs des différents « détails morphologiques ».

Ainsi se trouve précisée à une échelle plus fine, la répartition du fer dans les horizons « marqués par l'hydromorphie », répartition que l'on essayera également d'expliquer après l'étude dynamique.

Ces considérations posent aussi le problème du choix de l'échelle à laquelle on doit suivre, dans l'étude

dynamique, les variations saisonnières des quelques caractéristiques du sol qui permettent de connaître le régime hydrique et celui des phénomènes d'oxydo-réduction.

On a choisi de se placer à l'échelle de l'horizon du profil pour l'étude du régime hydrique. La prise d'échantillons destinés à la détermination de l'humidité du sol ou de la densité apparente, ne tient pas compte des détails morphologiques qui sont englobés dans un volume prélevé suffisamment important. Cette échelle semble être le mieux adaptée pour la connaissance du comportement hydrique global de la séquence et la mise en évidence d'éventuels mouvements d'eau d'horizon à horizon. Ce choix cependant, exclut la prise en considération de mouvements d'eau sur de faibles distances, dus à des gradients d'humidité

dans un même horizon (extérieur et centre d'un élément structural, par exemple), mouvements dont l'importance sur la redistribution d'éléments du sol n'est certainement pas négligeable.

En ce qui concerne l'étude des *variations de l'état d'oxydoréduction du sol*, étant donné que chaque mesure de  $E_h$  qui est faite n'intéresse qu'un petit volume de terre, on opère des prélèvements de faible poids pour les dosages de fer ferreux afin de rester à une échelle comparable et pouvoir associer:  $E_h$  et teneur en fer réduit. On se place donc à une échelle voisine de celle des « détails morphologiques ». On constate, dans un même horizon, à un moment donné, une grande dispersion des résultats qui s'explique par l'hétérogénéité qui existe à cette échelle. Cette dispersion traduit bien la juxtaposition de zones plus ou moins réduites (qui joue un rôle dans la redistri-

bution du fer en particulier) et nécessite la réalisation d'une certaine répétition des mesures. L'état d'oxydoréduction d'un horizon d'un profil n'est donc pas défini à un moment donné par une valeur unique mais par une *gamme de valeurs*. Cette gamme permet de connaître à un moment donné non seulement les variations de  $E_h$  ou des teneurs en fer ferreux à l'échelle de la séquence, mais aussi celles qui existent au sein de chaque horizon.

Ce choix d'échelles différentes pour l'étude du régime hydrique et celle des variations de l'état d'oxydoréduction du sol est guidé surtout par des raisons de commodité pour la réalisation des déterminations ; il n'empêche pas cependant l'établissement de certaines relations existant, dans un horizon à un moment donné, entre les états hydrique et d'oxydoréduction du sol (voir deuxième partie, chapitre 1).

## ANNEXE 1

## Résultats d'analyses

## FICHE ANALYTIQUE DU PROFIL GL 4

N° échantillon .....	GL 41	GL 42	GL 43	GL 44	GL 45	GL 46
Profondeur (cm) .....	0 - 10	20 - 30	40 - 50	70 - 80	95 - 105	120 - 130
Argile (%) .....	5,8	10,5	13,3	20,0	27,5	31,3
Limon fin (%) .....	3,8	4,5	4,8	5,5	6,0	6,0
Limon grossier (%) .....	5,3	4,9	4,9	4,8	4,7	5,5
Sable fin (%) .....	38,9	36,3	35,8	30,0	27,5	25,5
Sable grossier (%) .....	44,8	42,4	41,3	39,3	35,2	32,0
Mat. org. totale (%) .....	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1
en C % <sub>oo</sub>						
C. org. total .....	4,48	2,72	1,63	1,31	0,94	0,81
mat. hum. totale .....	1,52	1,21				
ac. humiques .....	1,14	0,75				
ac. fulviques .....	0,38	0,46				
N total (% <sub>oo</sub> ) .....	0,26	0,20	0,15	0,15	0,13	0,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (% <sub>oo</sub> ) .....	0,38	0,36	0,36	0,28	0,25	0,20
Fer total (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	8,7	10,6	14,4	18	22	25,3
Fer amorphe (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	3,6	4,75	6,50	8,00	11,8	12,0
Bases échangeables en mé/100 g de sol						
Calcium .....	2,51	2,18	1,80	2,48	3,60	6,08
Magnésium .....	0,98	1,20	1,20	1,38	1,54	1,91
Potassium .....	0,14	0,09	0,11	0,20	0,29	0,37
Sodium .....	0,13	0,11	0,15	0,17	0,21	0,23
S .....	3,76	3,58	3,26	4,23	5,64	8,59
T .....	3,80	4,00	4,25	6,25	8,25	9,50
S/T = V (%) .....	99	90	77	68	68	90
pH eau .....	6,8	6,6	6,6	5,8	6,0	6,1
pH KCl .....	5,8	5,4	5,1	4,2	4,4	4,6
pF 3 .....	4,6	5,9	6,7	9,5	11,9	14,1
pF 4,2 .....	2,3	3,6	4,2	6,4	8,5	10,0

## FICHE ANALYTIQUE DU PROFIL GL 9

N° échantillon .....	GL 91	GL 92	GL 93	GL 94	GL 95	GL 96
Profondeur (cm) .....	0 - 10	30 - 40	50 - 60	70 - 80	95 - 105	120 - 130

Argile (%) .....	9,5	10,5	13,3	14,0	19,0	27,5
Limon fin (%) .....	4,0	3,5	4,3	4,3	6,0	5,3
Limon grossier (%) .....	6,9	5,4	6,0	5,7	5,6	5,6
Sable fin (%) .....	40,4	38,0	34,5	34,2	32,4	28,7
Sable grossier (%) .....	38,8	42,7	42,8	42,2	38,0	32,9

Mat. org. totale (%)	0,8	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	
en C % <sub>oo</sub>	C. org. total .....	4,5	2,1	1,3	1,1	0,75	0,75
	Mat. hum. totale .....						
	Ac. humiques .....						
	Ac. fulviques .....						
N total (% <sub>oo</sub> ) .....	0,37	0,23					

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (% <sub>oo</sub> ) .....						
--	--	--	--	--	--	--

Fer total (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	9,7	10,5	13,6	14,0	22,5	26,8
Fer amorphe (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	5,25	4,7	5,75	6,50	11,40	

Bases échangeables en mé/100 g de sol						
Calcium .....	2,06	1,73	1,61	1,61	2,44	4,13
Magnésium .....	1,13	0,78	1,13	1,13	1,35	1,76
Potassium .....	0,15	0,07	0,11	0,14	0,23	0,38
Sodium .....	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10
S .....	3,44	2,63	2,90	2,93	4,07	6,37
T .....	4,50	3,75	4,00	4,00	5,75	8,50
S/T = V (%) .....	76	70	73	73	71	75

pH eau .....	6,6	6,2	5,7	6,0	6,1	—
pH KCl .....	5,5	4,9	4,6	4,6	4,7	—

pF 3 .....	5,9	4,9	6,2	6,4	8,8	12,2
pF 4,2 .....	3,0	3,1	4,1	4,2	5,9	8,6

## FICHE ANALYTIQUE DU PROFIL GL 14

N° échantillon .....	GL 141	GL 142	GL 143	GL 144	GL 145	GL 146
Profondeur (cm) .....	0 - 10	15 - 25	30 - 40	50 - 60	75 - 85	100 - 110

Argile (%) .....	9,5	15,5	21,5	29,0	33,5	33,5
Limon fin (%) .....	4,5	4,8	5,5	6,5	8,5	8,3
Limon grossier (%) .....	6,4	5,2	4,9	4,4	5,2	5,4
Sable fin (%) .....	39,8	37,3	31,6	27,9	25,5	26,0
Sable grossier (%) .....	39,7	35,3	35,6	31,6	27,1	26,1

Mat. orga. totale (%) .....	0,8	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2	
En C (% <sub>oo</sub> )	C. orga. total .....	4,79	3,15	2,72	1,78	1,28	1,15
	Mat. hum. t. ....	1,70	1,43	1,07	—	—	—
	Ac. humiques .....	1,18	1,03	0,38	—	—	—
	Ac. fulviques .....	0,52	0,40	0,69	—	—	—
N total (% <sub>oo</sub> ) .....	0,33	0,23	0,26	0,19	0,13	—	

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (% <sub>oo</sub> ) .....	0,41	0,27	0,32	0,28	0,23	0,23
--	------	------	------	------	------	------

Fer total (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	9,6	14,1	21,5	26,3	32,3	32,7
Fer amorphe (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	3,6	5,1	—	—	—	—

Bases échangeables en mé/100 g de sol						
Calcium .....	2,81	3,45	4,69	5,10	6,19	7,50
Magnésium .....	0,94	1,05	1,12	1,46	1,91	1,88
Potassium .....	0,14	0,11	0,17	0,20	0,27	0,32
Sodium .....	0,10	0,07	0,07	0,08	0,08	0,15
S .....	3,99	4,68	6,05	6,84	8,45	9,85
T .....	5,00	6,00	7,00	9,00	10,30	11,30
S/T = V (%) .....	80	78	86	76	82	87

pH eau .....	6,2	6,2	6,1	5,9	6,2	6,4
pH KCl .....	5,4	5,4	5,3	5,1	5,1	5,4

pF 3 .....	6,1	7,8	10,0	13,0	14,4	14,1
pF 4,2 .....	3,2	5,1	6,9	9,1	10,1	9,7

## FICHE ANALYTIQUE DU PROFIL GL 18

N° échantillon .....	GL 181	GL 182	GL 183	GL 184	GL 185
Profondeur (cm) .....	0 - 5	15 - 25	35 - 45	55 - 65	75 - 85

Argile (%) .....	17,5	34,3	35,5	35,3	35,0
Limon fin (%) .....	5,5	5,5	7,3	7,8	7,3
Limon grossier (%) .....	9,3	6,9	7,2	7,6	7,2
Sable fin (%) .....	37,2	25,4	22,9	23,9	24,4
Sable grossier (%) .....	30,2	25,1	23,3	21,7	22,4

Matière organique totale (%)	1,4	0,5	0,2	0,2	0,2	
En C (‰)	C organique total ....	8,0	3,05	1,30	1,25	1,40
	Matière humique totale					
	Acides humiques ....					
	Acides fulviques .....					
N total (‰) .....	0,51	0,32				

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (‰) .....	0,38	0,32	0,24	0,24	0,24
---	------	------	------	------	------

Fer total (Fe ‰) .....	14,8	26,5	32,7	32,7	30,8
Fer amorphe (Fe ‰) .....	7,0	—	—	—	—

Bases échangeables en mé/100 g de sol					
Calcium .....	2,81	5,44	6,94	7,61	7,61
Magnésium .....	1,54	1,57	2,06	1,80	1,88
Potassium .....	0,13	0,16	0,26	0,30	0,32
Sodium .....	0,04	0,06	0,09	0,10	0,10
S .....	4,52	7,29	9,35	9,81	9,91
T .....	7,00	10,5	12,30	12,50	12,30
S/T = V (%) .....	65	69	76	78	81

pH eau .....	5,9	5,5	5,7	6,4	6,4
pH KCl .....	4,6	4,6	4,8	4,9	4,9

pF 3 .....	10,6	14,2	14,7	14,9	14,9
pF 4,2 .....	5,2	9,6	10,8	10,8	10,8

## FICHE ANALYTIQUE DU PROFIL GL 25

N° échantillon .....	GL 251	GL 252	GL 253	GL 254
Profondeur (cm) .....	0 - 8	15 - 25	40 - 50	80 - 90

Argile (%) .....	22,0	27,8	39,8	38,5
Limon fin (%) .....	10,3	10,3	10,8	10,0
Limon grossier (%) .....	5,6	5,6	7,8	8,1
Sable fin (%) .....	24,6	24,9	20,1	21,0
Sable grossier (%) .....	33,8	30,8	22,6	22,7

Matière organique totale (%)	3,0	1,0	0,4	0,4	
En C (% <sub>oo</sub> )	C organique total . . . .	17,6	5,89	2,22	2,06
	Matière humique totale	4,88	2,48	1,04	
	Acides humiques . . . .	3,74	1,81		
	Acides fulviques . . . .	1,14	0,67		
N total (% <sub>oo</sub> ) .....	1,0	0,43	0,19		

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (% <sub>oo</sub> ) .....	0,73	0,37	0,26	0,27
--	------	------	------	------

Fer total (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	18,5	27,2	32,3	31,4
Fer amorphe (Fe % <sub>oo</sub> ) .....	7,8	11,2	14,2	13,0

Bases échangeables mé/100 g de sol				
Calcium .....	3,08	3,75	7,50	8,44
Magnésium .....	1,61	1,69	2,63	2,62
Potassium .....	0,17	0,19	0,28	0,33
Sodium .....	0,04	0,06	0,14	0,18
S .....	4,90	5,69	10,60	11,60
T .....	13,30	12,50	15,00	15,00
S/T = V (%) .....	37	46	71	77

pH eau .....	5,6	5,6	5,9	6,1
pH KCl .....	3,9	3,9	4,2	4,4

pF 3 .....	16,6	13,6	16,5	16,6
pF 4,2 .....	8,7	8,4	11,4	11,5

PLANCHE I

SÉGRÉGATION DU FER DANS LES DIFFÉRENTS HORIZONS D'UN SOL DU HAUT DE LA SÉQUENCE

Photographies de lames minces réalisées sur des monolithes prélevés dans le profil GL 11 (haut de séquence)

Echelle approximative : 1/1.



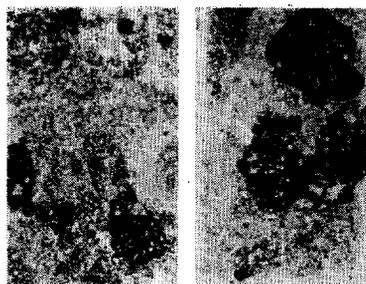
1

PHOTO 1. — Horizon lessivé peu marqué par l'hydromorphie, profondeur : 35-45 cm. Taches se distinguant mal du fond matriciel, correspondant à des accumulations d'hydroxydes de fer cimentant le squelette ; on remarque par place de petites accumulations en grain (voir planche 2, photographie 1).



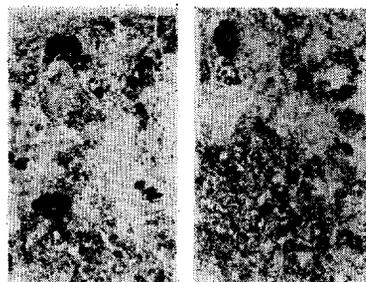
2

PHOTO 2. — Pseudogley poreux, profondeur : 70-80 cm. La ségrégation est plus poussée que sur la photographie précédente ; les taches se distinguent nettement.



3

PHOTO 3. — Pseudogley peu poreux, profondeur : 100-110 cm. Ségrégation très poussée : zones claires pauvres en fer, accumulation d'hydroxydes de fer formant des taches, des nodules et des concrétions (voir planche 2, photographie 3).

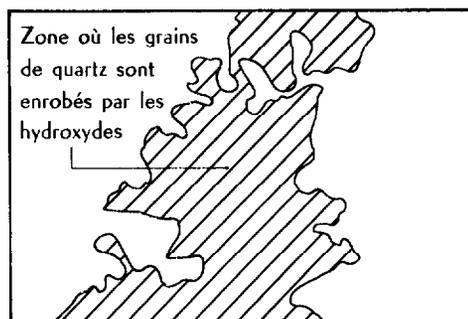


4

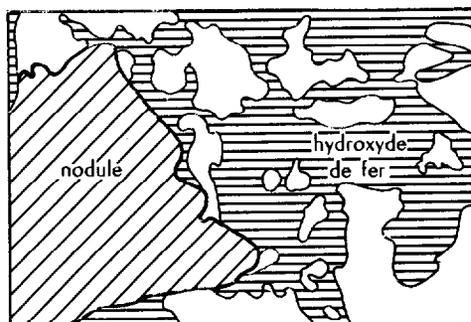
PHOTO 4. — Gley de profondeur, profondeur : 140-150 cm. Si quelques zones claires subsistent, on observe une répartition plus homogène du fer. Les nodules et concrétions sont plus petits et semblent souvent en voie de désagrégation (voir planche 2, photographie 4).

(Photographies : R. DERUELLE)

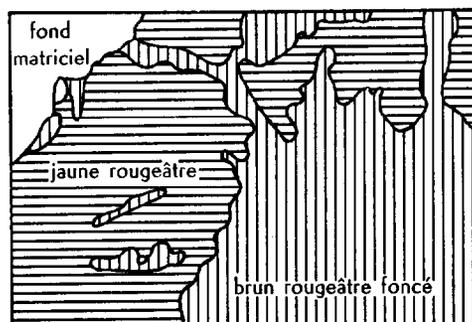
QUELQUES ASPECTS DE LA MICROMORPHOLOGIE DE PSEUDOGLEY ET DE GLEY DE PROFONDEUR



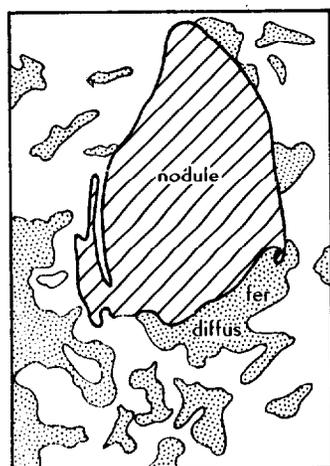
1 - Squelette cimenté par les hydroxydes  
(horizon peu marqué par l'hydromorphie - GL 11 - 35 - 45 cm)



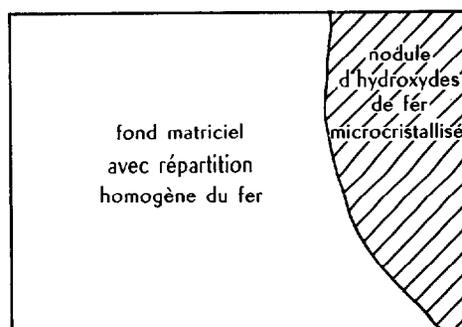
2 - Nodule entouré d'un fond matriciel très enrichi en hydroxyde  
(pseudogley peu poreux GL 14 - 70 - 80 cm)



3 - Bordure de concrétion - Zonation de couleurs différentes  
(pseudogley peu poreux GL 11 - 100 - 110 cm)

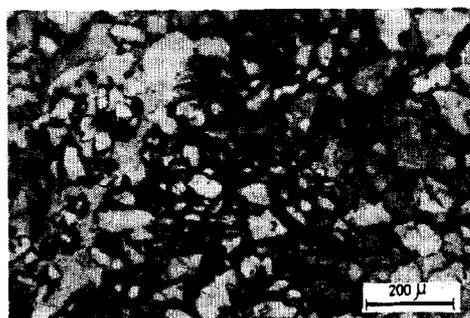


4 - Nodule en voie de désagrégation entouré de fer diffus  
(gley de profondeur GL 11 - 140 - 150 cm)

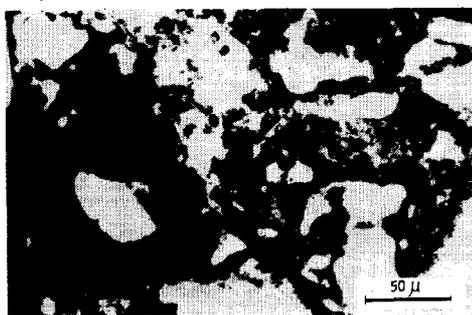


5 - Nodule "noyé" dans un fond matriciel uniformément riche en fer  
(gley de profondeur GL 25 - 80 - 90 cm)

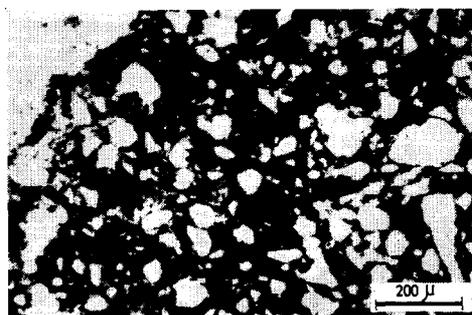
(d'après des photographies de M. FROMAGET - montage : R. DERUELLE)



1



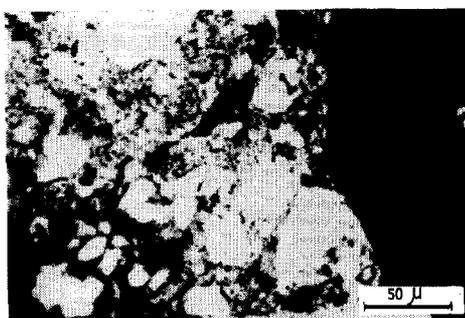
2



3

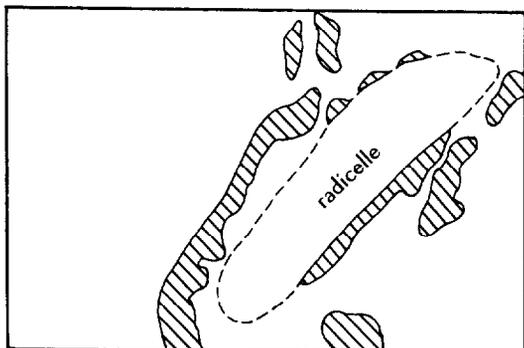


4



5

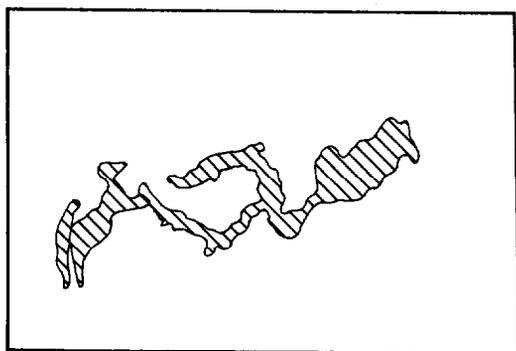
## DIFFÉRENTES FORMES D'ACCUMULATION DU FER DANS UN GLEY DE SURFACE



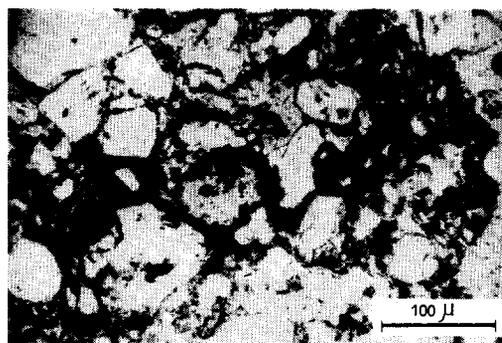
1 - Hydroxyde de fer formant une gaine autour d'une radicelle  
(gley de surface GL 25 - 0,8 cm)



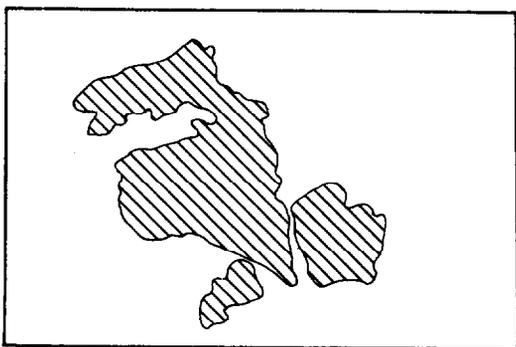
1



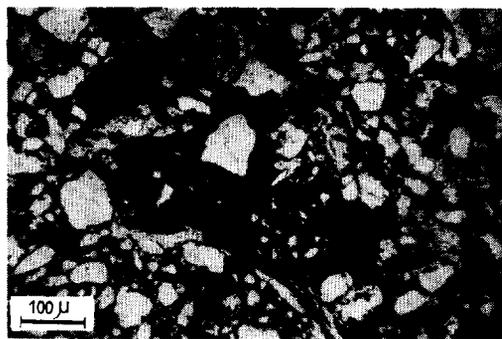
2 - Accumulation en "lignes horizontales" de fer et de matière organique  
(gley de surface GL 25 - 0,8 cm)



2



3 - Globules, accumulation d'hydroxydes de fer non cristallisés  
(gley de surface GL 25 - 0,8 cm)



3

(d'après des photographies de M. FROMAGET - montage : R. DERUELLE)