

LES SOLS HYDROMORPHES A PSEUDO-GLEY LITHOMORPHES DU NORD-CAMEROUN (1^{re} partie)

D. MARTIN*

RÉSUMÉ

Par sa géomorphologie et la variété de ses roches-mères, le Nord-Cameroun est assez différent de l'Afrique de l'ouest et des catégories particulières de sols y ont été mises en évidence : les sols rouges tropicaux et les solonetz solodisés communs au Tchad et au Cameroun en sont de bons exemples. Sous un climat toujours nettement tropical est étudié ici un type particulier de sol hydromorphe : l'hydromorphie est due essentiellement à la présence de minéraux argileux gonflants dans le matériau originel dérivé de roches métamorphique et granitique ; le lessivage, qui différencie le profil en deux horizons tranchés, est un processus pédogénétique majeur ; l'activité biologique des vers de terre joue un rôle non négligeable. Comme autres caractéristiques physico-chimiques, qui ont servi à la caractérisation de ces sols, on peut citer les variations dans le profil de la granulométrie, du pH et des indices concernant le fer. La première partie se termine par une étude des principaux processus de pédogenèse de ces sols et une discussion sur le problème de leur classification, qui fut résolu par la création d'un sous-groupe lessivé des sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley.

Dans une deuxième partie l'étude de trois toposéquences permet de replacer ces sols dans le paysage et en particulier de voir les liens qui les rattachent aux sols halomorphes lessivés, aux sols ferrugineux tropicaux lessivés et aux vertisols. Une discussion générale aborde le problème des « sols lessivés tropicaux », pour lesquels il semble que l'on puisse mettre en évidence un même processus d'intensité variable : les données sont encore insuffisantes pour proposer un remaniement d'ensemble de la classification, qui donnerait une plus grande importance au lessivage tropical.

* Centre OSTOM - B.P. 3115. Libreville (Gabon).

ABSTRACT

Owing to its geomorphology and variety of its parental rocks, North Cameroon is very different from West Africa, and peculiar kinds of soils have been distinguished : tropical red soils and solodized solonetz, common to Chad and Cameroon, are good examples. Under a lasting clear tropical climate, a peculiar kind of hydromorphic soil is described here : hydromorphy is chiefly occasioned by clayey swelling minerals issued from parental rock withdrawn from metamorphic and granitic rocks ; leaching, which divides the soil profile into two distinct layers, is the chief pedogenetic process ; biological activity of earth worms is an important phenomenon. We may also mention physical and chemical data, used for description of soils, as grain-size, pH, and iron indexes variations in soil profile. The first part is ended by a study of the main pedogenetic processes of soils and a debate on the question of their classification, which was solved by setting a subtype of leached hydromorphic mineral pseudo-gley soil.

In the second part, the study of three topographic successions allows to place these soils in the landscape and, especially, to see their links with the leached halomorphoc soils, the ferruginous tropical leached soils and the vertisols.

The question of « tropical leached soils » is discussed and it seems that the same process of variable intensity may be outlined. Insufficient data do not yet allow a whole recasting of classification, which would give a greater significance to tropical leaching.

PLAN

1. INTRODUCTION

2. LES FACTEURS DE LA PÉDOGENÈSE

- 2.1. Localisation
- 2.2. Climatologie
- 2.3. Géologie
- 2.4. Géomorphologie et topographie

3. ETUDE DES SOLS

3.1. Etude de profils

- 3.1.1. Profil POL 11
- 3.1.2. Profil POL 18
- 3.1.3. Profil RBA 6
- 3.1.4. Profil BIB 5

3.2. Caractéristiques générales

- 3.2.1. Caractéristiques morphologiques et physiques.
- 3.2.2. Caractéristiques chimiques
- 3.2.3. Caractéristiques minéralogiques

3.3. Essai d'explication de la pédogenèse et classification

- 3.3.1. Principaux critères de caractérisation
- 3.3.2. Principaux processus de pédogenèse
- 3.3.3. Corrélations avec d'autres sols.
- 3.3.4. Place dans la classification

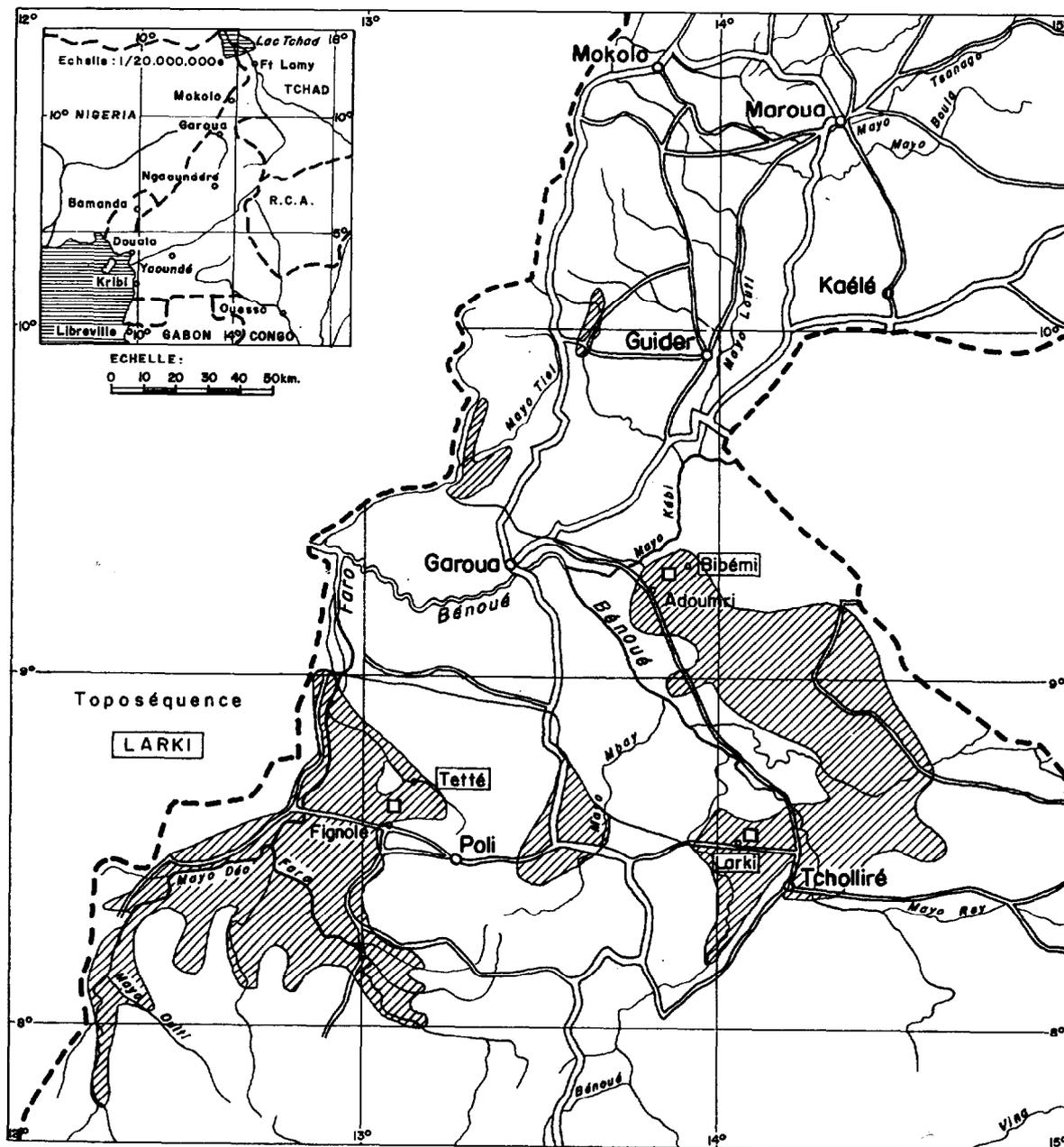


FIG. 1. — Principales zones de sols hydromorphes à pseudo-gley lithomorphes.

4. ETUDE DE TOPOSÉQUENCES

- 4.1. Toposéquence Tetté
- 4.2. Toposéquence Larki
- 4.3. Toposéquence Bibémi.

5. DISCUSSION GÉNÉRALE

6. BIBLIOGRAPHIE

1. INTRODUCTION

Le Nord Cameroun offre, entre les parallèles 8° et 10° N, un type de pédogenèse assez particulier. Malgré le drainage externe toujours assuré, l'hydromorphie est un processus pédogénétique très répandu, et un type de sol très fréquent est un sol hydromorphe à pseudo-gley, que l'on peut qualifier de « lithomorphe » : en effet, l'hydromorphie n'est pas due à la topographie mais à une forme d'altération particulière des roches métamorphiques et granitiques, où les minéraux 2/1 de type montmorillonite jouent un rôle important. De plus, l'action de la faune du sol, en particulier des vers de terre, contribue à donner à ces sols une morphologie particulière et a sans doute un rôle dans leur pédogenèse.

Dans cet article, après avoir passé en revue les principaux facteurs de la pédogenèse de ces sols, on se propose d'en faire une étude aussi complète que possible avec les éléments disponibles : étude détaillée de profils typiques, caractéristiques générales de ces sols à partir de la vingtaine de profils analysés et essai de classification. Une dernière partie sera consacrée à l'étude de 3 toposéquences, ce qui permettra de situer ces sols hydromorphes dans le paysage et de voir les liens qui les rattachent à d'autres types de sols de la région, en particulier aux sols ferrugineux tropicaux, aux vertisols et aux sols halomorphes.

2. LES FACTEURS DE LA PÉDOGENÈSE

2.1. LOCALISATION

Les sols hydromorphes à pseudo-gley lithomorphes sont localisés essentiellement au sud du parallèle de Garoua, où ils sont associés ou juxtaposés à des vertisols, des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols halomorphes : ils sont bien représentés, ou dominants, dans une bande qui traverse le Nord-Cameroun depuis l'ouest et le sud-ouest de Poli jusqu'à l'est et le nord-est de Rey-Bouba. On en trouve quelques taches isolées au nord et nord-est de Garoua, mais ils ont été peu étudiés dans cette région. Ils sont associés à des roches métamorphiques ou granitiques, et il n'en existe donc pas dans la zone de grès crétacé qui occupe la fosse de la Benoué.

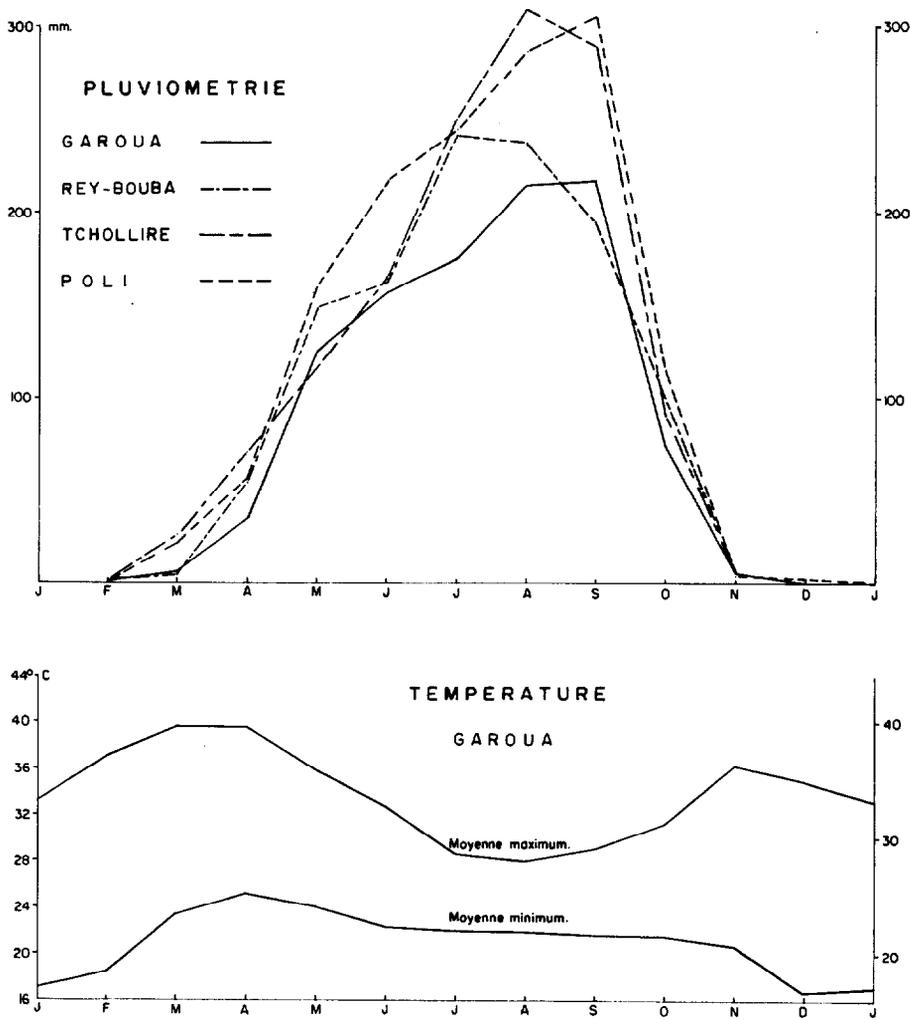


FIG. 2.

2.2. CLIMATOLOGIE

Le climat de toute la zone où l'on trouve ces sols hydromorphes à pseudo-gley est typiquement soudanien : régime pluviométrique tropical, saison sèche de 5 à 6 mois, pluviométrie de 1 000 à 1 400 mm, températures élevées.

L'on dispose ainsi pour Garoua des principales caractéristiques suivantes :

- pluviométrie : 1 004 mm en 64 jours de pluies, et 6 mois inférieurs à 50 mm ;
- évaporation : 2 380 mm, dont 1 690 mm pendant les 6 mois secs ;

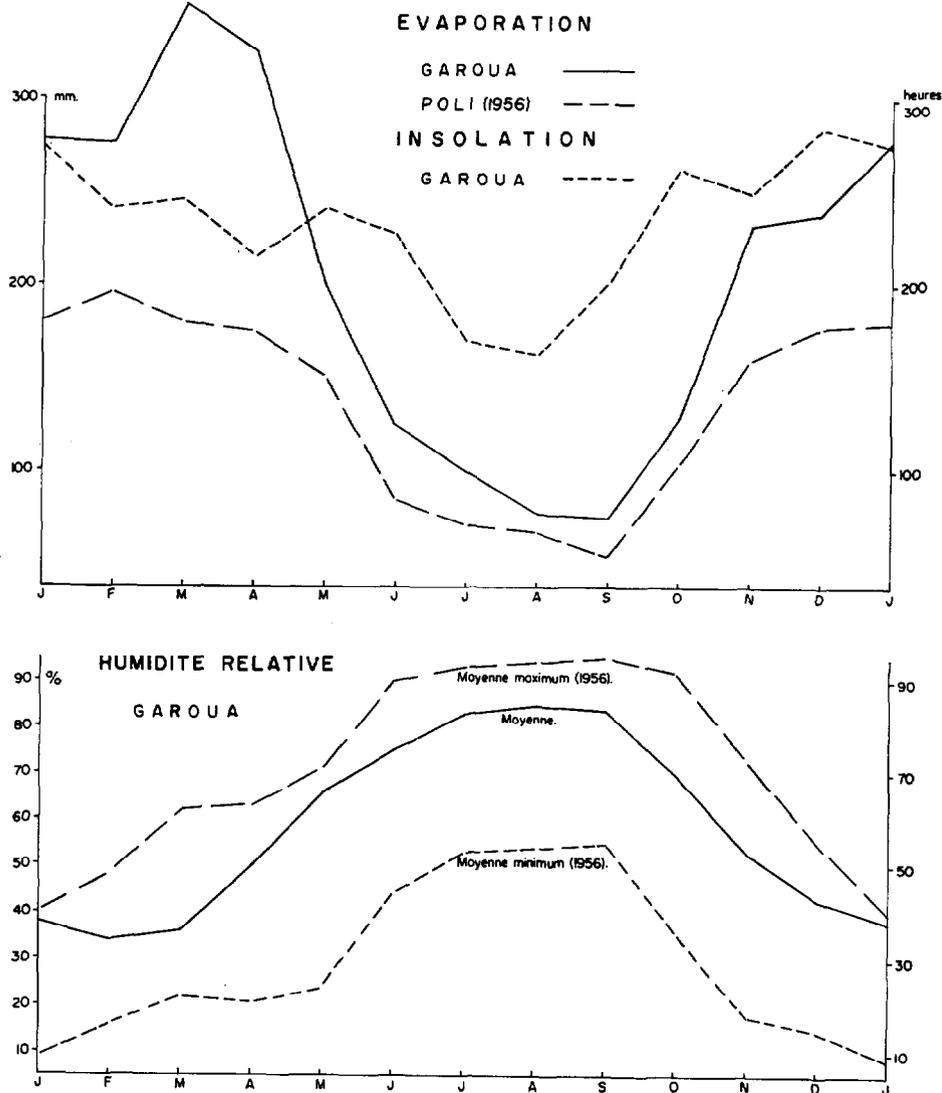


FIG. 3.

- insolation : 2 776 heures avec minimum en août et maximum en décembre ;
- température : moyenne annuelle de 28 °C ; les maxima moyens mensuels sont observés de mars à mai et les minima en décembre et janvier ;
- humidité relative : minimum mensuel de 10 à 20 % pendant la saison sèche avec des minimums absolus inférieurs à 8 %.

Si la pluviométrie doit être à peu près identique à celle de Garoua dans la zone au sud des massifs montagneux des Mandara (Dourbey), elle augmente nettement au sud, bien que les deux postes pluvio-

métriques de Poli et Tcholliré ne soient pas particulièrement représentatifs en raison de leur situation au milieu ou à proximité de massifs montagneux. Les caractéristiques pluviométriques de 3 postes sont les suivantes :

- Rey-Bouba : 1 095 mm en 70 jours de pluies, et 6 mois inférieurs à 50 mm ;
- Tcholliré : 1 330 mm, avec 6 mois inférieurs à 50 mm ;
- Poli : 1 420 mm en 84 jours de pluies, et 5 mois inférieurs à 50 mm.

Dans la plus grande partie de la zone des sols hydromorphes lithomorphes, la pluviométrie peut être considérée comme comprise entre 1 000 et 1 350 mm avec 6 mois inférieurs à 50 mm.

Pour la température, nous disposons des chiffres de Garoua et de Poli (1956) : température moyenne annuelle de 26,2 °C en 1956 pour Poli. L'altitude de Garoua (250 m) représente l'altitude minimum où l'on trouve ces sols hydromorphes, tandis que Poli (440 m) est un peu plus haut que leur altitude maximum : on peut considérer que la température moyenne de la zone doit être comprise entre 26,5 °C et 28 °C.

L'évaporation, qui est en moyenne de 2 380 mm à Garoua, n'est plus que de 1 600 mm en 1956 à Poli : dans la zone qui nous intéresse, on peut la considérer comprise entre 1 800 et 2 300 mm, plus forte au nord et nord-est (Bibémi), plus faible au sud et sud-est (Fignolé).

L'indice d'aridité A (de Martonne) est compris entre 25 et 35. Le drainage calculé D (Hénin-Aubert) est de l'ordre de 150 mm pour une pluviométrie de 1 000 mm et de 300 mm pour une pluviométrie de 1 300 mm en adoptant le coefficient $\alpha = 0,75$ pour des sols argilo-sableux.

$$A = \frac{P}{T+10}, \quad D = \frac{\alpha \delta P^3}{1+\alpha P^2} \quad \text{avec} \quad \delta = \frac{1}{0,15T-0,13} \quad \begin{array}{l} P = \text{Pluviométrie} \\ T = \text{Température moyenne} \end{array}$$

Il faut surtout retenir de cette rapide étude le contraste entre les deux saisons très tranchées du climat tropical, qui entraîne les conséquences suivantes :

- pluviométrie concentrée pendant quelques mois de saison des pluies, avec possibilité de lessivage et même d'engorgement selon les caractéristiques physiques des sols et des horizons du sol ;
- forte évaporation pendant la saison sèche entraînant le dessèchement plus ou moins complet du profil et la possibilité de remontée d'eau par évaporation ;
- arrêt de toute activité biologique et physico-chimique dans le sol à la fin de la saison sèche ;
- modification brutale de l'économie de l'eau dans le sol aux changements de saison.

2.3. GÉOLOGIE

Les sols hydromorphes à pseudo-gley n'ont été observés que sur les roches du socle, roches métamorphiques ou granitiques : celles-ci peuvent être assez variées dans leur texture et leur structure, mais elles sont beaucoup plus homogènes quant à leur composition chimique. On a observé des sols hydromorphes aussi bien sur granites (granites discordants anciens, granites orientés) que sur roche métamorphique, mais plus souvent sur migmatite (anatexite, embréchite) que sur ectinite (gneiss, micaschiste).

Au point de vue chimique, ce sont des roches leucocrates, caractérisées toujours par de faibles quantités de ferromagnésiens, mais contenant une bonne proportion de minéraux altérables en dehors du quartz : il semble que les feldspaths calciques ou calcosodiques soient dominants.

Il n'a pas été possible d'avoir d'analyses de roches. Il est en effet très difficile de se procurer la roche-mère réelle du sol que l'on observe : dans un profil, on ne peut atteindre que la roche altérée, la roche saine pouvant être à plusieurs mètres de profondeur ; en affleurement ou dans les rivières, on voit rarement de roche saine correspondant au faciès de roche altérée observée, mais le plus souvent une roche ayant résisté à l'altération et, soit beaucoup plus mélanocrate (filon d'amphibolite), soit formée presque exclusivement de quartz et feldspath (microgranite, aplité).

2.4. GÉOMORPHOLOGIE ET TOPOGRAPHIE

La plupart des profils observés se situent entre 240 et 350 m d'altitude, c'est-à-dire sur la surface récente qui résulte de l'invasion de la Benoué entre Adamaoua et Mandara (SEGALEN, 1967). Plus au sud et plus haute (350 à 450 m), la surface africaine II (fin tertiaire) est caractérisée par la présence d'une cuirasse ferrugineuse dont l'existence et la continuité sont particulièrement nettes à partir de l'altitude 400 m. On a même pu retrouver des restes de cette cuirasse dans la zone des sols hydromorphes : à Larki (325 m), certains profils de la chaîne de sols (voir paragr. 5.1) présentent entre les horizons A et B des blocs de cuirasse absolument étrangers au sol et qui doivent provenir de la destruction du niveau cuirassé de la surface africaine II.

La surface récente de la Benoué, dans les zones granitiques et métamorphiques, est caractérisée par un aplanissement assez bon. Cependant, en raison de la faible perméabilité générale des sols, dans la zone des sols hydromorphes, le réseau de drainage primaire et secondaire est rapidement enfoncé de 0,5 à 2 m, avec affleurement de la roche altérée sur les flancs du mayo et de roches dures dans le lit le plus souvent sableux ; l'alluvionnement, toujours très réduit (quelques mètres de largeur), ne commence que sur les mayos de plus de 5 à 8 m de large. Les profils des vallées peuvent être appelés en V évasé.

Les collines, interfluves étudiés entre deux axes de drainage, sont bien aplanies, mais les différences de niveau entre sommet et axe de drainage sont au minimum de 10-12 m et peuvent atteindre 20 à 25 m dans certaines zones : le drainage externe est donc toujours parfaitement assuré. Le sommet des collines est très aplani, à profil convexe, et on n'a jamais pu observer le passage à une nette concavité de la pente en bas de collines. Les pentes, très faibles en sommet de collines (souvent moins de 1 %) s'accroissent sur les flancs de la colline sans dépasser 4 à 5 %, et restent le plus souvent de l'ordre de 2-3 %. Cette forme de collines, sans concavité basale, est la seule observée dans la zone des sols hydromorphes, mais d'autres existent certainement dans les secteurs à sols ferrugineux tropicaux dominants.

La forme régulière des collines, l'absence de rupture de pente ou de changement brusque de pente, font penser à une action morphogénétique continue et régulière sans brusque changement de climat ou de niveau de base. L'érosion actuelle se fait essentiellement en nappe et le colluvionnement paraît limité ou n'a pu être mis en évidence : les matériaux mis en mouvement par l'érosion semblent être enlevés directement par le réseau de drainage pour alimenter les zones d'alluvionnement.

On peut considérer que, dans les secteurs étudiés, les sols ont dû commencer à évoluer depuis le début du quaternaire après l'ablation du niveau cuirassé de la surface africaine II. Les variations climatiques de cette période ne semblent pas avoir été assez importantes ou assez longues pour avoir pu changer radicalement la pédogenèse ou tout au moins le type d'altération des roches. Les sols ont toujours été soumis à l'érosion, qui pouvait être plus ou moins intense selon les épisodes climatiques secs ou humides, parce que le réseau hydrographique s'est continuellement enfoncé empêchant l'accumulation de matériaux en bas des collines et ils ont donc conservé un caractère de jeunesse relatif, ce qui permet de les considérer comme en équilibre avec le climat moyen du quaternaire dans la région.

3. ÉTUDE DES SOLS

3.1. ÉTUDE DE PROFILS CARACTÉRISTIQUES

3.1.1. Profil POL 11

3.1.1.1. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES (photo n° 1)

POL 11.

Village de Tartesse à 15 km à l'ouest de Fignolé.

A mi-pente d'une colline moyennement accidentée. Pente 4 à 5 %.

Savane densément arborée défrichée pour cultures.

Roche-mère : roche granitique moyennement riche en ferromagnésiens.

- | | |
|------------|---|
| 0 à 22 cm | Brun foncé (10 YR-3/3) à brun pâle (10 YR-6/3) sec ; sable fin et grossier peu argileux ; structure nuciforme fine très peu développée ; peu dur à fragile ; forte macroporosité par vers de terre et bonne microporosité ; nombreuses racines de graminées et d'arbres ou arbustes dont la majorité se limite à cet horizon. Transition tranchée et régulière. |
| A1 | |
| 22 à 35 cm | Brun jaune foncé (10 YR-4/4) à brun jaune clair (10 YR-6/4) sec, très finement tacheté de rouille clair ; sable grossier et fin argileux ; structure polyédrique moyenne peu développée ; dur à très dur ; bonne microporosité ; peu ou pas de racines. Transition distincte et régulière. |
| B1 | |
| 35 à 72 cm | Bigarré par juxtaposition intime mais nettement visible de brun olive clair (2,5 Y-5/4) à brun gris clair (2,5 Y-6/2) sec et de brun jaune clair (2,5 Y-6/4) à jaune pâle (2,5 Y-7/4) sec, taches noires et rouilles bien délimitées pouvant ou non correspondre à une concrétion ; argileux sable grossier ; massif et peu structuré ; dur à très dur ; peu poreux ; quelques concrétions noires. Transition distincte et régulière. |
| B21 | |
| 72 à 95 cm | Couleur identique à B21, mais les plages de couleur différentes sont plus grandes et moins bien limitées ; argilo-sableux ; massif ; très dur ; peu poreux ; concrétions noires et rouilles de moins de 0,5 cm. |
| B22 | |
| 95 cm | Transition graduelle et ondulée à la roche-altérée par imbrication des deux horizons : texture argilo-sableuse et graveleuse ; moins massif et dur que B22. |
| BC | |
| 110 cm | Roche altérée de couleur claire ; peu de minéraux noirs ; litage visible. |
| C | |
| D | La roche saine n'est atteinte qu'à 4 à 5 m de profondeur ; il s'agit d'un granite orienté, appelé aussi granite blanc, à faciès leucocrate dominant, les minéraux noirs formant des lits plus ou moins bien marqués et pouvant manquer totalement par place. |

Ce profil est bien caractérisé morphologiquement par :

- un horizon A, nettement lessivé en argile, à structure peu développée et cohésion faible, sans trace d'hydromorphie ;
- un horizon B tranchant nettement par sa texture, sa structure et sa cohésion ; nette hydromorphie par présence de pseudo-gley et de petites concrétions noires ;
- un horizon C d'altération de la roche, d'abord remanié, puis à structure conservé.

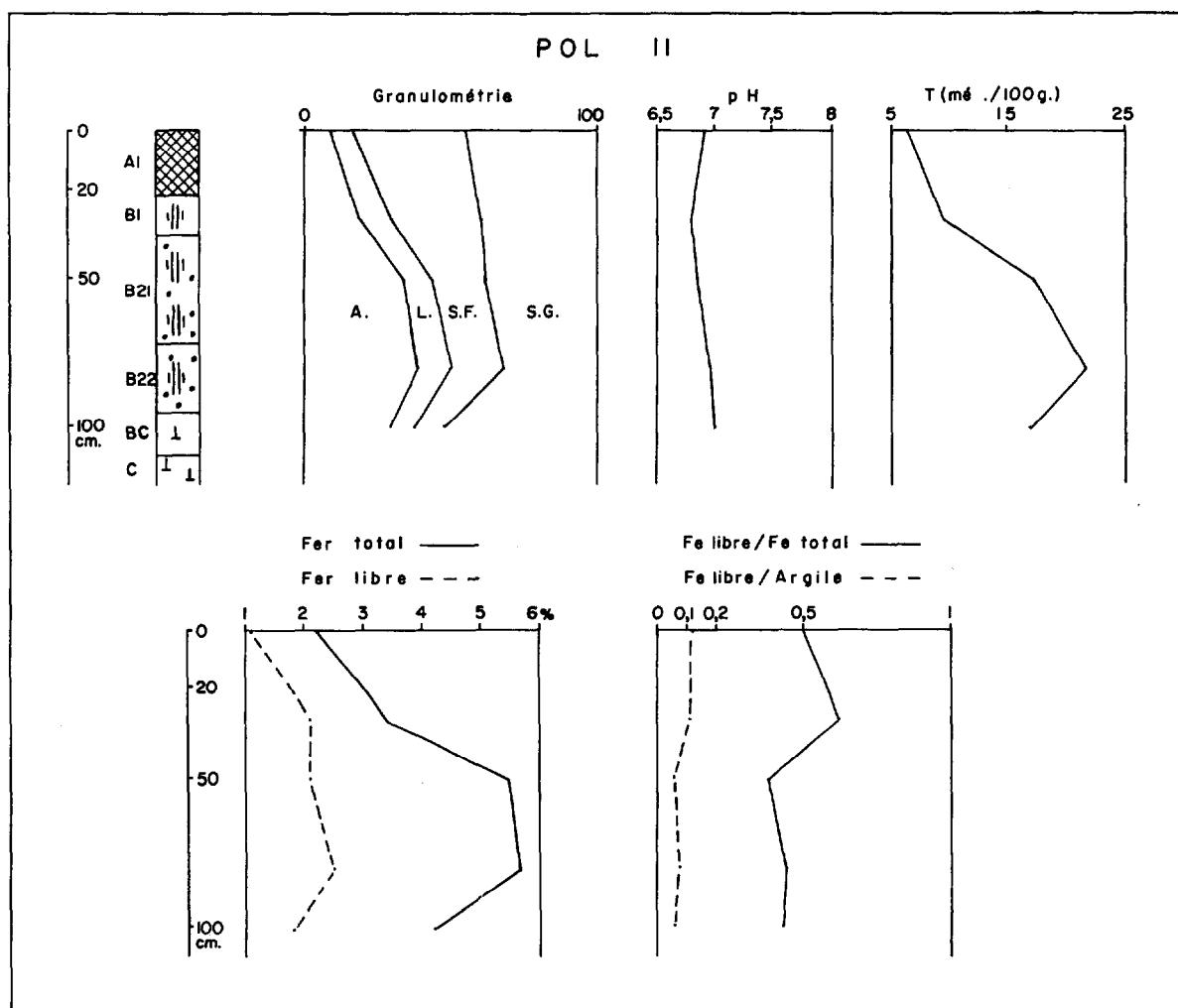


FIG. 4.

TABLEAU I

Profil POL 11 - Résultats analytiques

ÉCHANTILLONS	111	112	113	114	115
HORIZON	A1	B1	B21	B22	BC
PROFONDEUR cm	0-15	25-35	45-55	80-90	95-105
GRANULOMÉTRIE %					
Argile	9,1	19,4	32,9	37,6	29,2
Limon	7,3	10,3	10,3	11,8	8,1
Sable fin	39	30	17,7	18,8	11,1
Sable grossier	43,3	41,2	40,7	33,6	53,2
Gravier	—	0,4	0,8	2,3	36,5
MATIÈRES ORGANIQUES ‰					
M.O. Totale	10,8	6,9	4	4,5	
Carbone	6,3	4	2,3	2,6	
Azote	0,49	0,43	0,33	0,3	
C/N	12,9	9,3	7	8,7	
CATIONS ÉCHANGEABLES					
mé./100 g					
Calcium	3,6	6	10,9	13,50	10,1
Magnésium	1,9	1,5	5,2	6	4,4
Potassium	0,13	0,13	0,36	0,45	0,48
Sodium	0,08	0,02	0,08	0,08	0,08
Somme S.	5,7	7,65	16,5	20	15
Capacité d'échange T.	6,5	9,5	17,2	21,6	17
S/T	0,88	0,81	0,96	0,93	0,88
pH					
	6,9	6,8	6,85	6,95	7
BASES TOTALES					
mé./100 g.					
Calcium	10,2	9	11	14,4	12,8
Magnésium	5,7	15,4	24,4	40,8	25
Potassium	1,6	4,1	4,5	5,6	5,1
Sodium	0,2	0,3	0,35	0,3	0,3
Phosphore ‰	0,18	0,09	0,06	0,14	0,06
Fer total %					
	2,2	3,4	5,5	5,7	4,2
Fer libre %					
	1,1	2,1	2,1	2,5	1,8
Fe libre/Fe total					
	0,5	0,62	0,38	0,44	0,43
Fe libre /Argile %					
	12	11	6	7	6
CO ₃ Ca %					
	—	—	—	—	—

Les caractéristiques morphologiques sont suffisantes pour classer ce sol comme sol hydromorphe minéral à pseudo-gley : la présence de pseudo-gley le place dans le groupe à pseudo-gley. Seule l'absence de tout indice d'hydromorphie dans l'horizon A1 n'est pas conforme aux critères retenus pour les sols hydromorphes. Cette absence peut être due à la culture récente ou, plus vraisemblablement, à l'action des vers de terre qui, en ameublissant et en aérant considérablement l'horizon A1, empêche toute ségrégation de fer : cette caractéristique propre aux horizons A1 à vers de terre est fréquente.

3.1.1.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

La texture de l'horizon A1 est nettement sableuse, avec à peu près autant de sable fin que de sable grossier ; l'horizon B1 fait transition : 19 % d'argile et une proportion un peu plus forte de sable grossier (S.F./S.G. de 0,7) ; l'horizon B2 est caractérisé par sa texture argilo-sableuse et une nouvelle augmentation du pourcentage de sable grossier : le rapport S.F./S.G. est voisin de 0,5 contre 0,9 pour l'horizon A1.

L'indice d'entraînement apparent de l'argile est particulièrement élevé (1/4,1) mais la représentation granulométrique du profil ne montre pas d'accumulation visible de l'argile : la teneur en argile augmente en profondeur jusqu'à la base de B et diminue fortement dans l'horizon C. Il y a en même temps argilification dans l'horizon B, et départ d'argile de l'horizon A mais sans accumulation en B.

La teneur en matière organique est très moyenne (1 % en surface) et le rapport C/N relativement faible (C/N de 12,8) s'explique par la culture récente.

La capacité d'échange est bonne dans tout le profil et suit à peu près les variations de la teneur en argile : 6,5 mé./100 g dans l'horizon A1, 17 à 20 mé./100 g dans l'horizon B2. Le pH (6,8 à 7) et le degré de saturation élevé ne sont pas caractéristiques : noter le pH neutre de l'horizon BC.

Parmi les bases échangeables, le calcium est bien représenté mais le magnésium l'est aussi, car il atteint des chiffres moitié de ceux du calcium dans l'horizon B2.

Les réserves minérales sont élevées, particulièrement en magnésium et potassium, alors que calcium et sodium sont moins bien représentés.

Les teneurs en fer total sont moyennes (2,2 à 5,7 %). La légère différence de teneur entre les horizons B et C peut faire penser à une légère accumulation relative, mais peut aussi bien s'expliquer par de faibles variations de composition de la roche-mère. Le point important est la diminution du fer total dans les horizons A1 et B1, qui s'accompagne d'une augmentation relative de la teneur en fer libre et d'une meilleure saturation de l'argile par le fer libre : Fe libre/Fe total supérieur à 0,5 en A1 et B1, et nettement inférieur à 0,5 en B2 ; Fe libre/Argile supérieur à 10 % en A1 et B1, et voisin de 6-7 % en B2.

L'indice d'entraînement du fer est de 1/2,6 : comme pour l'argile, il y a élimination du fer des horizons supérieurs, facilitée par une plus grande individualisation de celui-ci, mais sans accumulation dans le profil.

Les minéraux argileux déterminés par analyse chimique (réactif triacide) et rayons X sont formés d'un mélange de montmorillonite, illite et kaolinite, dans lequel la montmorillonite semble jouer le rôle le plus important.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de l'argile, pratiquement constant dans le profil, est compris entre 3,1 et 3,2. La teneur en fer libre de l'argile diminue graduellement en profondeur, tandis que sa proportion par rapport au fer total reste pratiquement constante sauf dans l'horizon BC.

La capacité d'échange calculée par rapport à l'argile est comprise entre 50 et 60 mé./100 g ; mesurée sur la fraction argileuse, elle est un peu plus faible (25 à 45 mé./100 g) et n'augmente significativement que dans l'horizon BC (72,6 mé./100 g).

L'analyse aux rayons X signale de la montmorillonite dans tout le profil, mais en proportion plus importante et bien cristallisée dans les deux derniers horizons : la goethite est décelée en sommet du profil.

3.1.2. Profil POL 18

3.1.2.1. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES (photo n° 3)

POL 18.

Nord du village de Tetté.

En bas de pente d'une colline faiblement ondulée. Pente 2 %.

Savane densément arborée à dominance d'*Anogeissus leiocarpus*. Haute et dense végétation d'Andropogonées.

Roche-mère : embréchite pauvre en ferromagnésiens et filon de microgranite.

Important microrelief par tortillons de vers de terre.

- | | |
|------------|--|
| 0 à 3-5 cm | Gris foncé (10 YR-4/1) et gris (10 YR-5/1) sec, fines mouchetures rouilles par places, spécialement sur les éléments de vieux tortillons et en relation avec de fines racines ; sable fin peu argileux ; aspect général massif donnant une structure lamellaire avec |
| A11 | couche de sables colorés lités, ou structure polyédrique fine faiblement développée ; fragile à peu dur ; quelques gros pores dans les restes de tortillons, mais la forte macroporosité n'apparaît qu'à la base de l'horizon ; faible microporosité. Transition tranchée et légèrement ondulée. |
| 5- 12 cm | Horizon dans lequel les cavités remplies d'agrégats de toutes dimensions prédominent sur le squelette décrit à l'horizon suivant, qui occupe moins de 50 % de l'horizon et fait transition avec l'horizon A 11 ; brun gris très foncé (10 YR-3/2) et brun gris (10 YR-5/2) sec ; sable fin peu argileux ; agrégats très variés remplissant les cavités : |
| A12 | restes de tortillons de forme arrondie, peu poreux, durs à très durs, agrégats polyédriques à nuciforme bien développés de tailles variées (0,5 à 2 cm), fragiles à durs et à bonne microporosité, petits grumeaux fragiles de 1 à 2 mm ; grosses racines dans les cavités ; squelette terreux comme dans A13. |
| 12- 27 cm | Squelette terreux continu parcouru de nombreux tubes de 0,5 à 1,5 cm de diamètre ; brun foncé (10 YR-2,5/3) à brun gris foncé (10 YR-4/1,5) sec, traînées et points rouille dans les zones les plus compactes du squelette ; sable fin argileux ; structure polyédrique fine moyennement développée, encore quelques petits éléments de tortillons |
| A13 | (moins de 0,5 cm) et petits grumeaux ; peu dur à dur ; forte macroporosité biologique et bonne microporosité. La plupart des grosses racines d'arbres et arbustes s'arrêtent dans cet horizon. Transition distincte et régulière. |

- 27- 40 cm Entièrement bigarré brun gris foncé et très foncé (10 YR-3/2 à 4/2) et brun foncé (7,5 YR-4/4), traînées plus claires et sables fins déliés ; sable fin argileux ; aspect massif donnant une structure polyédrique fine peu développée ; fragile à dur ; porosité par tubes de 1 à 2 mm ; très peu de fines racines. Transition distincte et régulière.
- A31
- 40- 55 cm Même couleur avec plus forte proportion de brun foncé (7,5 YR-4/4) ; traînées et poches de sables fins brun gris foncé (10 YR-4/2) assez abondantes par endroits ; aspect massif donnant structure polyédrique fine, peu développée ; fragile à dur ; porosité par tubes de moins de 1 mm ; quelques concrétions noires. Transition tranchée et régulière.
- A32
- 55- 68 cm Couleur très hétérogène entièrement bigarrée ; gris foncé (10 YR-4/1) à la surface des agrégats, intérieur brun gris à taches ou zones brun à brun vif (7,5 YR-4/4 à 5/6) ; sablo-argileux ; macrostructure prismatique par fentes verticales donnant structure polyédrique grossière peu à moyennement développée ; dur à très dur ; faible micro-porosité ; revêtements argileux lisses et de couleur homogène à la surface des agrégats ; quelques concrétions noires. Transition distincte et régulière.
- B21
- 68- 90 cm A peu près identique ; argilo-sableux ; macrostructure prismatique (2 à 5 cm) moins nette ; structure polyédrique grossière avec faces concaves par place ; revêtements argileux sur les agrégats moins fréquents et moins nets, plus nombreuses concrétions noires. Transition distincte et régulière.
- B22
- 90-110 cm Dominance de gris foncé (10 YR-4/1) et de zones brunes (8,75 YR-5/6) mieux délimitées que dans B21 et B22 ; massif, friable à ferme à l'état humide ; concrétions noires ; rares racines d'arbustes de 2-3 mm dans l'horizon B.
- B23
- 110-140 cm Accumulation de cailloux et blocs rocheux hétérogènes, quartz de toute dimension ; roche blanche à rose essentiellement quartzo-feldspathique.
- 140 cm Horizon d'altération sans litage visible ; feldspaths altérés mais encore individualisés ; quelques ferromagnésiens non altérés ; zone argileuse brun gris ; déjà quelques concrétions noires.
- C

Le profil peut s'interpréter ainsi :

— un horizon A1 épais, appauvri en argile, entièrement façonné et travaillé par les vers de terre (photo n° 3) : des taches rouilles apparaissent dès que l'horizon devient massif dans les zones non travaillées ;

— un horizon A3, plus argileux, massif, plus nettement tacheté et à concrétions noires d'hydromorphie, à cohésion moyenne ;

— passage brutal à un horizon B de pseudo-gley typique à taches de mieux en mieux marquées en profondeur et à forte cohésion ; la macrostructure prismatique de B21 s'accompagne d'un lissage des agrégats, qui ne semble cependant pas correspondre à une accumulation d'argile ;

— après un lit de cailloux entre B et C, passage à l'horizon d'altération d'une roche métamorphique leucocrate.

L'hydromorphie, qui commence dès les parties massives de l'horizon A est suffisamment importante pour classer ce sol comme sol hydromorphe minéral à pseudo-gley : comme le profil précédent, il appartiendrait au sous-groupe à taches et à concrétions.

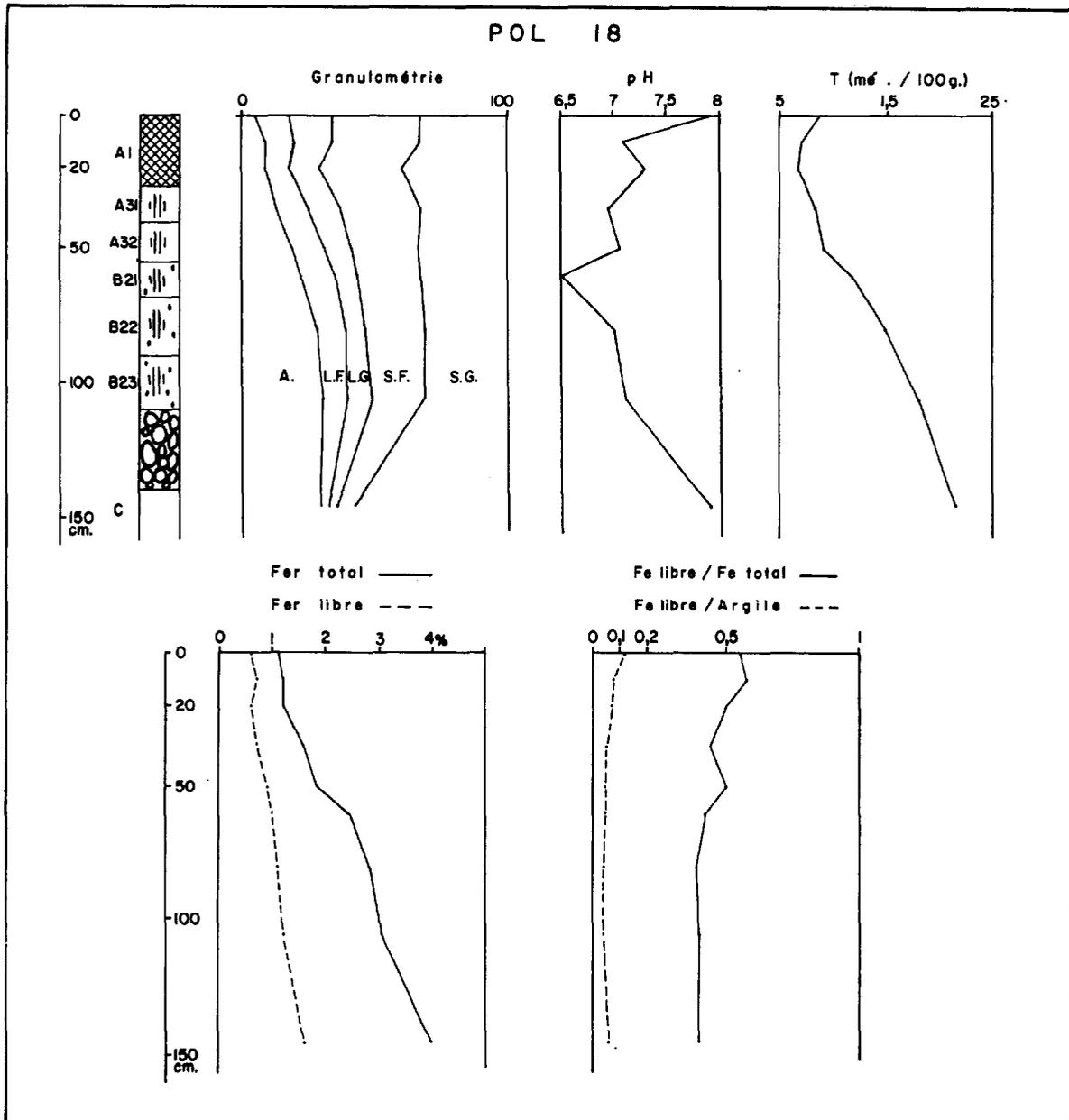


FIG. 5.

TABLEAU II
Profil POL 18 - Résultats analytiques

ÉCHANTILLONS	181	182	183	184	185	186	187	188	189
HORIZON	A11	A12	A13	A31	A32	B21	B22	B23	C
PROFONDEUR cm	0-3	5-12	15-25	30-40	45-55	55-65	70-85	95-110	140-150
GRANULOMÉTRIE %									
Argile	5	9	9	13	19	22	28,3	30,3	29
Limon fin	13	11	9	12	12	13	10,5	9,1	2,5
Limon grossier	16	14	11	12	10	8	7,7	8	1,5
Sable fin	33	31	31	30	25	24	21,7	18,5	7,5
Sable grossier	33	34	38	33	36	33	29	31	58,2
Graviers	—	—	—	—	0,2	0,2	0,8	0,8	28,9
MATIÈRES ORGANIQUES ‰									
M.O. Totale	10,7	9,6	8,8	6,4	5,3	2,9			
Carbone	6,2	5,6	5,1	3,7	3,1	1,7			
Azote	0,46	0,46	0,41	0,35	0,3	0,25			
C/N	13,6	13,8	12,4	10,6	10,4	7			
CATIONS ÉCHANGEABLES mé./100 g									
Calcium	6,5	5,1	5	4,1	6,3	7,3	9,8	11,4	13,1
Magnésium	1,9	1,4	0,9	2,1	1,9	2,8	4,2	5,8	10,7
Potassium	0,03	0,03	0,03	0,2	0,1	0,2	0,03	0,03	0,2
Sodium	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,2
Somme S.	8,5	6,6	6	7,5	8,4	10,4	14,1	17,3	24,2
Capacité d'échange T	6,4	6,7	6,5	7,75	8,9	11,7	14,9	18	21,5
S/T	>1	0,99	0,92	0,97	0,94	0,89	0,95	0,96	>1
pH	7,9	7,1	7,3	6,95	7,05	6,5	7	7,1	7,9
Fer total %	1,1	1,2	1,2	1,6	1,8	2,4	2,8	3	4
Fer libre %	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	1	1,1	1,2	1,6
Fer libre/Fe total	0,55	0,58	0,5	0,44	0,5	0,42	0,39	0,4	0,4
Fer libre/Argile %	12	8	7	5	5	5	4	4	6
CO ₂ Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3.1.2.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

L'horizon A1, nettement sableux, contient moins de 10 % d'argile : sable fin (50 à 200 μ) et sable grossier s'équilibrent sensiblement. La teneur en argile commence à augmenter dans l'horizon A3, sans dépasser 20 %, et le sable grossier prend un léger avantage. Malgré la différence morphologique de structure et cohésion, le passage à l'horizon B ne se traduit pas par une augmentation du taux d'argile : la texture ne devient argilo-sableuse que vers 70 cm. L'indice d'entraînement de l'argile est particulièrement élevé (1/6,1). L'appauvrissement en argile est particulièrement marqué en A1, mais sans aucun indice d'accumulation en B : le profil granulométrique est parfaitement régulier jusqu'à l'horizon C.

Les teneurs en matière organique ne sont pas plus élevées que dans le profil précédent : 0,9 à 1,1 % de matière organique à C/N compris entre 12 et 14 dans l'horizon A1. Teneur en matière organique et rapport C/N ne s'abaissent nettement que dans les horizons A3 et B2 : 0,3 à 0,6 % de M.O. à C/N compris entre 6 et 11. Tous ces chiffres ne sont pas très caractéristiques de sols hydromorphes.

La capacité d'échange est comprise entre 6 et 9 mé./100 g dans l'horizon A et s'élève avec la teneur en argile dans l'horizon B (12 à 18 mé./100 g). Calculée par rapport à l'argile pour les horizons non organiques, la capacité d'échange est comprise entre 45 et 60 mé./100 g, ce qui suffit à montrer, en l'absence d'autres analyses, la présence de minéraux argileux à forte capacité d'échange comme la montmorillonite.

Le profil est particulièrement bien saturé : pH voisin ou supérieur à 7, degré de saturation compris entre 0,9 et 1. Le minimum du pH et de S/T est observé dans l'horizon B21 et il faut noter le pH franchement basique de l'horizon C. Le calcium est le cation dominant des bases échangeables, mais la proportion de magnésium augmente nettement en profondeur : le rapport Mg/Ca passe de 0,2-0,3 dans l'horizon A à 0,4-0,5 dans l'horizon B et 0,8 dans l'horizon C. Le sodium est à peine dosable dans tout le profil sauf dans l'horizon C (0,2 mé./100 g).

L'examen des analyses de fer libre et total est particulièrement intéressant. Les teneurs en fer total sont peu élevées dans l'ensemble (1 à 4 %) et augmentent régulièrement de la surface jusqu'à l'horizon C. Compte tenu de l'absence presque complète de concrétions, il n'y a donc pas accumulation, même relative, de fer mais au contraire élimination de celui-ci : l'indice d'entraînement du fer total est de 1/2,7, moins élevé que celui de l'argile. Cette élimination doit se faire dans l'horizon A : on observe en effet à la limite A/B d'une part une nette inflexion de la courbe du fer total, d'autre part une diminution du rapport Fer libre/Fer total qui, de 0,5-0,6 dans l'horizon A, devient inférieur à 0,5 dans l'horizon B. De même, le rapport Fer libre/Argile est nettement plus élevé (7 à 12 %) au sommet de l'horizon A qu'à la base de A et dans l'horizon B (inférieur à 5 %). Dans le profil, le passage de B à A se traduit par un net changement concernant le fer : l'élimination à partir de l'horizon A en est facilitée et, bien que le profil soit en bas de pente, il n'y a pas d'accumulation absolue dans le profil et l'élimination du fer par le réseau hydrographique doit être définitive.

3.1.2.3. DISCUSSION (profils POL 11 et POL 18).

Le matériau originel, résultat de l'hydrolyse ménagée d'une roche métamorphique ou granitique riche en feldspaths calciques mais pauvre en fer, est un mélange de quartz et d'argile de type varié. L'infiltration de l'eau de pluie est suffisante pour atteindre la roche et provoquer son hydrolyse, mais la percolation insuffisante ne permet pas l'exportation hors du profil des bases libérées : le pH est neutre ou légèrement basique dans l'horizon C, ce qui oriente la synthèse argileuse vers la formation d'un mélange de minéraux 1/1 (kaolinite) et 2/1 (montmorillonite et illite). La présence de montmorillonite à ce stade influe sur toute la pédogenèse ultérieure, et cette présence n'est pas due à la topographie, mais bien à un type d'altération climacique de la roche-mère : cela justifie l'appellation générale « lithomorphe » que nous avons déjà donnée à ces sols.

A partir de l'horizon d'altération à structure conservée, la pédogenèse commence par la destruction complète de cette structure, qui s'accompagne d'une synthèse importante d'argile, mais les minéraux non altérés sont encore visibles, la couleur claire est toujours celle de l'horizon C et la présence fréquente de taches rouille atteste que le fer est encore sous forme oxydée. Le passage à l'horizon B est toujours brutal et s'accompagne d'un brusque changement de couleur, mais sans modification apparente de la composition minéralogique. La texture argilo-sableuse, la faible individualisation du fer, son insuffisance par rapport aux teneurs en argile et la présence de montmorillonite donnent à cet horizon un caractère de pseudo-gley : l'horizon subit au cours de l'année des périodes de dessèchement et d'engorgement et est très peu perméable. Pendant la saison des pluies, l'imperméabilisation favorise, au sommet de l'horizon B, la formation d'une

nappe phréatique plus ou moins permanente, condition qui doit être très favorable à l'installation de vers de terre : ceux-ci créent peu à peu un horizon différencié, auquel ils donnent une texture, une structure et une porosité particulière. L'aération favorise la libération du fer, ce qui contribue, malgré la présence de montmorillonite, à améliorer la structure.

Le lessivage en argile peut se faire selon deux processus possibles : lessivage d'argile à travers l'horizon A mais sans accumulation nette dans le profil ; départ d'argile en surface par érosion superficielle, le brassage continu de l'horizon par les vers de terre renouvelant constamment les matériaux fins susceptibles d'être éliminés.

À l'inverse, l'étude du profil du haut vers le bas au cours de l'année va confirmer que les caractéristiques acquises ne peuvent que se conserver et sont bien en accord avec les phénomènes observés.

En début de la saison des pluies, l'eau pénètre facilement l'horizon A perméable et poreux et ruisselle peu : elle va rapidement humecter l'horizon B et provoquer le gonflement de la montmorillonite présente et l'engorgement de tout l'horizon par suite de la forte diminution de sa perméabilité. Cependant, au cours de la saison des pluies, de l'eau va traverser cet horizon pour atteindre le matériau originel et la roche-mère, mais elle n'est pas suffisante pour assurer en même temps l'hydrolyse de la roche et l'évacuation des bases : le pH va rester basique. Pendant le même temps l'intense activité biologique dans les horizons de surface est peut-être susceptible de provoquer un lessivage de l'argile.

En pleine saison des pluies, l'horizon B est pratiquement imperméable et l'horizon A est saturé d'eau : les fortes pluies de cette période (août-septembre) vont provoquer aussi bien un ruissellement superficiel susceptible d'entraîner de l'argile qu'un ruissellement à la limite A/B, qui a été réellement vu sur le terrain et qui peut produire les mêmes résultats. Les conditions d'humidité sont alors très bonnes pour l'activité des vers de terre.

En saison sèche, l'horizon A va se dessécher rapidement sous l'influence de l'évaporation, dessèchement favorisé par la texture sableuse et la forte porosité de l'horizon. Plus en profondeur au contraire, la différence de texture et de porosité entre A et B est susceptible d'entraîner la rupture du lien capillaire entre les deux horizons et un dessèchement beaucoup moins rapide de B, qui va rester ainsi humide une partie de l'année.

Telle est l'explication globale que l'on peut donner de la pédogenèse de tels profils, chaque caractéristique d'un horizon orientant et expliquant celle des horizons situés en-dessous ou au-dessus, et réciproquement.

3.1.3. Profil RBA 6

3.1.3.1. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

RBA 6.

2,5 km à l'est de Larki.

Pratiquement plat en sommet de colline très aplanie à allure de plateau. Pente : inférieure à 1 ‰.

Roche-mère : roche métamorphique pauvre en ferromagnésiens.

Savane moyennement arborée à *Butyrospermum parkii* et *Therminalia macroptera*. Dense et haute végétation d'Andropogonées.

Microrelief par affaissements et rigoles de l'ordre du décimètre, et tortillons de vers de terre de l'ordre du centimètre.

- 0- 16 cm Brun gris très foncé (10 YR-3/2) et gris brun clair (10 YR-6/2) sec ; sable fin peu argileux ; structure nuciforme fine moyennement développée ; peu dur ; très forte macroporosité biologique. Transition distincte et régulière.
A1
- 16- 35 cm Brun gris très foncé (10 YR-3/2) à gris brun clair (10 YR-6/2) sec, légèrement tacheté de rouille surtout à partir de 25 cm ; sable fin peu argileux ; aspect massif donnant des agrégats polyédriques moyens peu développés ; peu dur à dur ; pas de macroporosité, bonne microporosité. Transition distincte et régulière.
A31
- 35- 55 cm Brun foncé (10 YR-4/3) et brun pâle (10 YR-6/3) sec ; très tacheté de rouille et noir ; sable fin argileux ; aspect massif donnant agrégats polyédriques moyens peu développés ; peu dur à dur ; assez poreux. Transition tranchée et ondulée.
A32
- 55- 65 cm Concentration de quartz (graviers et cailloux) et de concrétions noires dans très peu de terre : cet horizon a une position et une épaisseur variable dans le profil.
- 65- 85 cm Brun olive clair (2,5 Y-5/4) à jaune pâle (2,5 Y-7/4) sec ; argilo-sableux ; massif à structure polyédrique plus ou moins bien développée par surface de glissement assez étendue (maximum 10 × 10 cm), bien planes et espacées de 1,5 à 2 cm quand elles sont parallèles ; très dur à sec et plastique humide ; peu poreux ; très fines racines sur les surfaces d'agrégats. Transition distincte et régulière.
B21
- 85-100 cm Brun olive clair (2,5 Y-5/3) à gris clair (2,5 Y-7,3) sec ; argileux ; massif, disparition progressive des surfaces de glissement ; très ferme et plastique à l'état humide ; peu poreux.
B22
- 100 cm Horizon d'altération de roche pauvre en fer : aspect jaune clair à traînées gris clair, non structuré mais assez compact.
C

La morphologie du profil peut se schématiser ainsi :

- un horizon A1 à forte proportion de sable fin et fortement travaillé par les vers de terre ;
- un horizon A3 épais, tacheté de rouille, massif, mais à cohésion moyenne ;
- un lit de cailloux d'épaisseur et profondeur variable, suggérant la possibilité de mouvement dans le sol ;
- un horizon B de pseudo-gley très décoloré (2,5 Y), massif et à forte cohésion ; faces de glissement bien développées sur 20 cm d'épaisseur ;
- un horizon C d'altération d'une roche litée pauvre en ferromagnésiens.

Comme les précédents, ce profil est divisé en deux horizons nettement distincts et aux caractéristiques morphologiques tranchées. La présence d'un lit de cailloux accentue encore le contraste. La présence dans ce lit de cailloux, de concrétions noires qui n'existent que dans l'horizon B suggère la possibilité d'une concentration des éléments grossiers à la limite entre un horizon argileux animé de mouvements vertisoliques et un horizon sableux plus stable. De même le microrelief particulier observé en surface s'apparenterait à un microrelief gilgai.

On peut discuter de la place de ce profil dans la classification selon l'importance que l'on attache au caractère hydromorphe ou vertisolique. On peut l'interpréter plutôt comme un faciès à caractère vertique prononcé d'un sol hydromorphe à pseudo-gley, que comme un vertisol hydromorphe à horizon A particulièrement développé : nous verrons plus loin (chaîne de sol Larki par. 5.1) que, sur le terrain, il fait transition entre un sol hydromorphe à pseudo-gley modal et un vertisol hydromorphe typique.

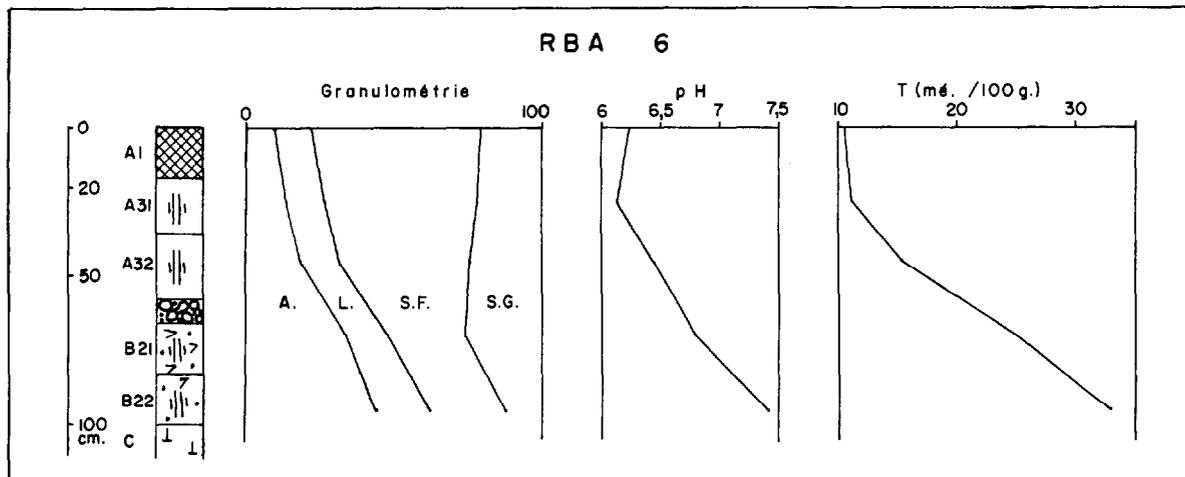


FIG. 6.

3.1.3.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

Les résultats d'analyses granulométriques montrent bien les caractéristiques différentes des horizons A et B :

- horizon A : 10 à 20 % d'argile, avec des rapports SF/SG compris entre 2,7 et 1,8.
- horizon B : 35 à 45 % d'argile, et SF/SG compris entre 1,0 et 2.

L'enrichissement en sable fin est particulièrement net jusqu'à 35 cm. L'indice d'entraînement de l'argile est de 1/4,1 et dénote un fort appauvrissement de l'horizon A, mais on ne décèle aucune accumulation visible en B.

Les teneurs en matière organique sont de l'ordre de 1,3 % en surface et encore 0,5 % à 50 cm (horizon A3) : le rapport C/N sous végétation naturelle est assez élevé (C/N voisin de 15), mais baisse rapidement en profondeur.

La capacité d'échange passe de 10-12 mé./100 g dans l'horizon A à 20-25 mé./100 g dans l'horizon B, beaucoup plus argileux. Cette capacité d'échange est bien saturée, puisque le taux de saturation oscille entre 85 et 95 % et le pH, faiblement acide, présente un minimum (pH 6,15) dans l'horizon A3, pour remonter au-dessus de la neutralité à la base de l'horizon B. La somme des bases échangeables comprend une forte proportion de calcium et le rapport Mg/Ca est inférieur à 0,35.

Les réserves minérales sont élevées, particulièrement en calcium et magnésium, qui sont pratiquement identiques, ce qui n'était pas le cas pour le profil POL 11 où le magnésium était nettement dominant.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de la fraction argileuse est compris entre 3,2 et 3,5, ce qui dénote la présence d'une importante proportion de montmorillonite. Comme dans le profil POL 11, les teneurs en fer libre de l'argile baissent en profondeur et celui-ci ne représente que moins de 40 % du fer total de la fraction argileuse.

Les rayons X confirment l'analyse chimique quant à la nette prédominance de la montmorillonite dans la fraction argileuse : la kaolinite est faiblement représentée, et l'illite, en faible proportion dans l'horizon A, n'est plus qu'à l'état de traces dans l'horizon B.

TABLEAU III

Profil RBA 6 - Résultats analytiques

ÉCHANTILLONS	62	63	64	65	66
HORIZON	A1	A31	A32	B21	B22
PROFONDEUR cm	0-10	20-35	40-55	65-75	90-100
GRANULOMÉTRIE %					
Argile	10,5	13,7	18,9	34,1	43,5
Limon	12,8	13,6	12,5	14,8	17,9
Sable fin	55,8	52,6	43,6	26,3	26,1
Sable grossier	21	21,6	24,5	26,2	12,6
Gravier	—	—	1,8	4,3	0,7
MATIÈRES ORGANIQUES ‰					
M.O. totale	13	9	5		
Carbone	8	5,6	3,1		
Azote	0,54	0,46	0,31		
C/N	14,8	12,1	10		
CATIONS ÉCHANGEABLES					
mé./100 g					
Calcium	7,2	7,5	11,8	16,4	23,6
Magnésium	1,4	2,2	1,3	6	7,4
Potassium	0,1	0,12	0,12	0,33	0,33
Sodium	—	—	0,11	0,36	0,57
Somme S.	8,7	9,8	13,3	23,1	31,9
Capacité d'échange T.	10,5	11,1	15,2	25	33
S/T	0,8	0,87	0,88	0,92	0,96
pH					
	6,25	6,15	6,45	6,8	7,4
BASES TOTALES					
mé./100 g					
Calcium	11,9	12,1	12,7	19,1	30,2
Magnésium	9,1	16,8	12,5	24,7	33,2
Potassium	1,3	1,2	1,4	1,6	2,5
Sodium	—	0,35	0,37	0,46	0,78
Phosphore ‰	0,33	0,18	0,2	0,15	0,02
CO₃ Ca %					
	—	—	—	—	—

3.1.3.3. DISCUSSION

Comme dans les profils précédents, l'hydromorphie est le processus dominant : elle apparaît dès l'horizon A3, et l'horizon B est un pseudo-gley typique. Le matériau originel, formé à partir d'une roche relativement riche en calcium, est argileux et le minéral dominant est la montmorillonite.

La différenciation du profil en deux horizons tranchés est toujours nette. La position du profil en sommet de plateau exclut pratiquement tout colluvionnement pour expliquer la texture particulière de

l'horizon A : le profil a donc dû se différencier in situ. On est obligé d'accorder une importance particulièrement forte à l'intervention des vers de terre pour expliquer ce lessivage en argile de l'horizon supérieur, bien qu'actuellement l'action visible de ceux-ci ne s'exerce que sur une partie de cet horizon.

La présence de faces de glissement dans une partie de l'horizon B indique nettement son caractère vertique, qui ne peut s'expliquer que par la forte proportion de montmorillonite dans la fraction argileuse. Cependant, ce caractère ne peut s'exprimer que dans un horizon à teneur élevée en argile, pour que les phénomènes de gonflement et de rétraction puissent prendre une ampleur suffisante pour permettre un mouvement dans le sol. Il est donc limité à une partie de l'horizon B, ce qui exclut une homogénéisation complète du profil comme dans les vertisols typiques. Il se traduit cependant par les phénomènes annexes propres aux vertisols : apparition d'un microrelief en surface ; accumulation d'éléments grossiers au sommet de l'horizon en mouvement.

Deux facteurs semblent à l'origine du caractère vertique de ce profil : une richesse plus grande en calcium de la roche, attestée par les teneurs en calcium total, oriente l'altération vers une hydrolyse et une néosynthèse en milieu nettement basique générateur de montmorillonite ; le relief aplani en sommet de colline diminue le drainage externe et facilite une humectation prolongée du profil, surtout dans ses horizons profonds. Le caractère vertique est suffisamment net pour être utilisé dans la classification de ce profil.

3.1.4. Profil BIB 5

Le profil BIB 5 sera le dernier profil étudié en détail. Dans la gamme des profils étudiés, il se distingue par l'absence d'action visible des vers de terre et se situe à l'opposé du précédent qui se rapprochait nettement des vertisols : le profil BIB 5 présente des phénomènes de lessivage et d'accumulation, ce qui le rapprocherait des sols ferrugineux tropicaux lessivés.

3.1.4.1. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

BIB 5.

5 km est d'Adoumri.

Collines faiblement ondulées ; à 150 m du sommet de collines ; pente de 3 à 4 %.

Savane densément arborée et arbustive à *Anogeissus leiocarpus* dominant ; Andropogonées de 1,2 à 1,5 m de haut.

- | | | |
|-----|-------|--|
| 0- | 8 cm | Gris très foncé (10 YR-3/1) et gris foncé (10 YR-4/1) sec ; sable fin peu argileux ; |
| A1 | | structure polyédrique fine moyennement à peu développée ; fragile ; rares macropores ; faible microporosité ; fines racines de graminées. Transition tranchée et régulière. |
| 8- | 20 cm | Gris très foncé (10 YR-3/1) et brun gris foncé (10 YR-4/1,5) sec ; sable fin et grossier peu argileux ; structure très peu développée ; fragile ; bonne microporosité. Transition tranchée et ondulée. |
| A2 | | |
| 20- | 40 cm | Lit de cailloux de quartz de dimensions variables dans terre brun pâle (10 YR-6/3) ; ensemble assez compact. Transition distincte et ondulée. |
| 40- | 75 cm | Entièrement bigarré à dominance de brun vif (7,5 YR-5/6) avec taches plus rouges (rouge-jaune 5 YR-4/6) ou plus grises (brun à brun gris 10 YR-5/2 à 5/3), la proportion de 10 YR augmentant en profondeur ; argileux ; vague macrostructure prismatique donnant des agrégats polyédriques moyens bien développés ; dur à sec ; faible porosité par pores jusqu'à 1,5 mm. Transition distincte et régulière. |
| B2 | | |

- 75- 90 cm Entièrement bigarré à dominance de brun-jaune (10 YR-5/4), à taches plus rouges (brun vif 7,5 YR-5/6) et plus grises (brun gris 10 YR-5/2) ; argilo-sableux ; structure polyédrique moyenne assez bien développée ; dur à sec ; peu poreux. Transition graduelle et ondulée.
- B3
- 90 cm Horizon d'altération de couleur très variable : gris N/5, brun-jaune (10 YR-5/6) et blanc (10 YR-8/1) ; peu de minéraux noirs.
- C

Ce profil s'interprète ainsi :

- un horizon A1 peu épais, à dominance de sable fin et à structure peu développée ;
- un horizon A2 assez bien caractérisé par sa couleur claire, sa texture sableuse et sa structure très peu développée ;

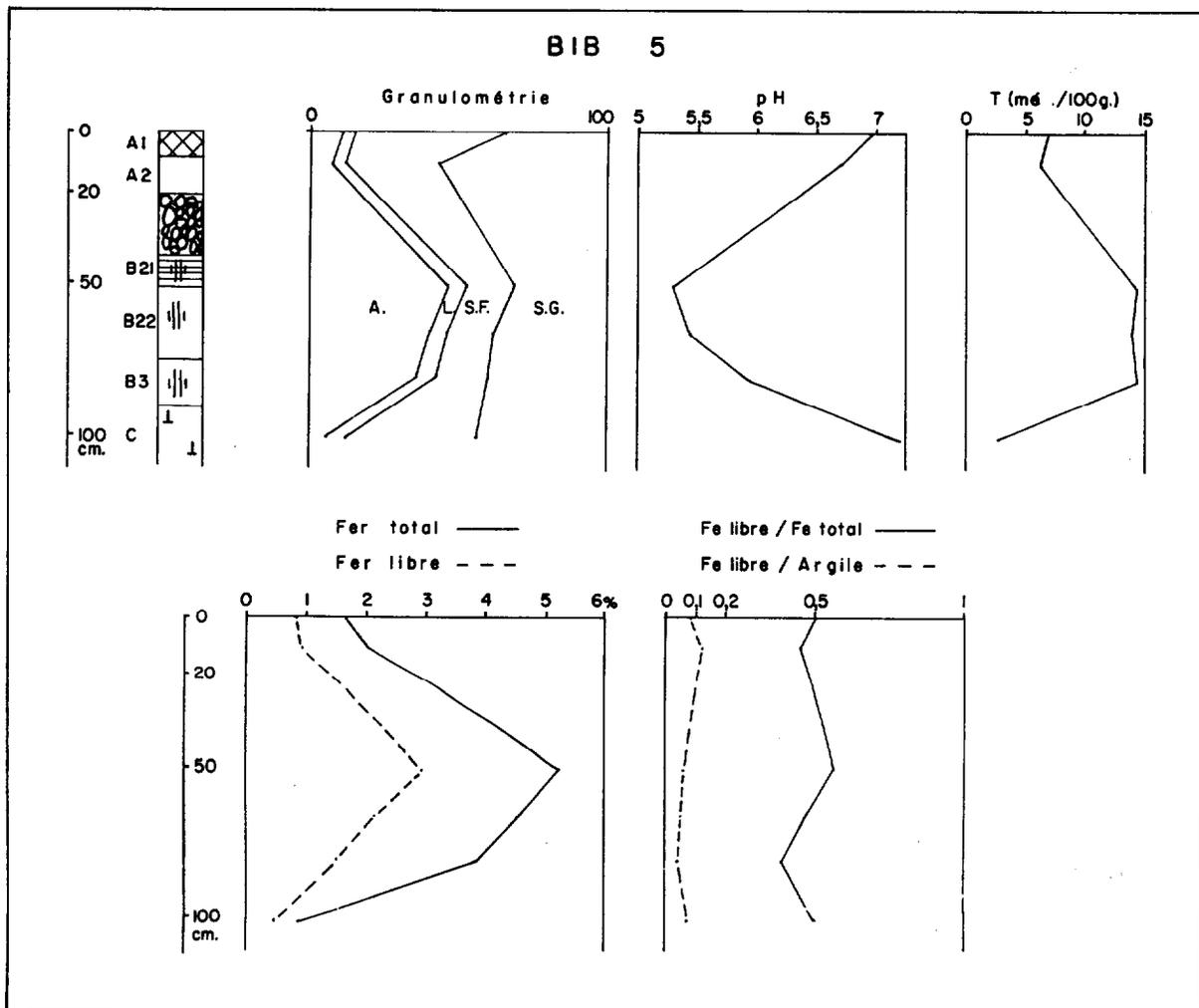


FIG. 7.

TABLEAU 4

Profil BIB 5. — Résultats analytiques

ÉCHANTILLONS	51	52	53	54	55	56
HORIZONS	A1	A2	B21	B22	B3	C
PROFONDEUR cm	0-7	7-15	45-60	60-70	75-90	90-100
GRANULOMÉTRIE %						
Argile.....	10,2	7,4	47,1	40,4	36,4	5,8
Limon.....	4,8	4,3	6,1	5,9	6,1	5,6
Sable fin.....	50,5	31	16	16	19	45
Sable grossier.....	33,5	56,5	31	38	39,5	44
Gravier.....	0,9	18,6	8,5	4,3	5	4
MATIÈRES ORGANIQUES ‰						
M.O. totale.....	1,6	1,1	0,56	0,36	0,39	
Carbone.....	9,3	6,6	3,3	2,1	2,3	
Azote.....	0,69	0,47	0,36	0,34	0,39	
C/N.....	13,5	14	9,2	6,2	5,9	
CATIONS ÉCHANGEABLES mé./100 g						
Calcium.....	4,75	3,95	7,4	7,7	7,9	1,8
Magnésium.....	0,75	0,8	1,6	1,5	1,1	0,25
Potassium.....	0,17	0,07	0,16	0,25	0,25	0,07
Sodium.....	0,06	0,06	0,18	0,2	0,33	0,06
Somme S.....	5,7	4,9	9,4	9,65	9,6	2,15
Capacité d'échange T.....	7	6,3	14,4	14,2	14,6	3
S/T.....	0,81	0,78	0,65	0,67	0,66	9,72
pH						
	6,95	6,7	5,3	5,4	5,95	7,2
BASES TOTALES mé./100 g						
Calcium.....	15,9	9,6	15,3	13,2	16,1	11,7
Magnésium.....	21,4	29	67	45	41	21
Potassium.....						
Sodium.....	2,3	2,5	2,8	3,4	2,8	4,9
Phosphore ‰.....						
Fer						
Fer total %.....	1,6	2	5,2	4,5	3,8	0,8
Fer libre %.....	0,8	0,9	2,9	2,1	1,5	0,4
Fe libre/Fe total.....	0,5	0,45	0,56	0,47	0,39	0,5
Fe libre/Argile %.....	8	12	6	5	4	7
CO₃ Ca %						
	—	—	—	—	—	—

- entre A et B, lit de cailloux de quartz assez compact ;
- passage brutal à un horizon à pseudo-gley, à accumulation d'argile et macrostructure prismatique ;
- horizon C d'altération d'une roche granitique pauvre en ferromagnésiens : couleur très variable selon le degré d'oxydation du fer.

La différenciation du profil en deux horizons nettement distincts est particulièrement nette : un horizon A meuble, lessivé en argile, non hydromorphe ; un horizon B à accumulation d'argile et à pseudo-gley. Ces critères morphologiques permettraient peut-être, malgré l'intensité du pseudo-gley, de classer ces sols comme ferrugineux tropicaux lessivés : l'examen des résultats analytiques va montrer qu'il s'agit bien d'un sol hydromorphe.

3.1.4.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

L'horizon A est nettement sableux (7 à 10 % d'argile), et on observe une dominance de sable fin en A1 et de sable grossier en A2, sans qu'on puisse en donner une explication. Après le lit de cailloux de quartz, on passe brusquement à l'horizon B, où l'on note une nette accumulation d'argile en B21. Le profil BIB 5 est un des rares profils où l'on puisse observer un « ventre » granulométrique réel. La teneur en sable baisse brusquement par rapport à celle en éléments fins.

Des études sédimentologiques effectuées sur ce profil (minéraux lourds, morphoscopie des sables), il ressort une identité d'origine de tous les horizons du sol : en particulier la morphoscopie des sables montre des quartz non usés dans tout le profil, ce qui exclut un apport éolien pour expliquer sa forte hétérogénéité granulométrique. L'examen des courbes de granulométrie des sables confirme et précise ce que nous avons déjà dit. En particulier l'hétérométrie (He ou indice de classement), très forte et normale en B, diminue dans l'horizon A : il y a donc début de triage dans l'horizon A et celui-ci porte surtout sur le sable fin (40 à 250/ μ) dans l'horizon A1 (1).

Sans exclure la possibilité d'un remaniement, qui serait attesté par la présence du lit de cailloux de quartz, l'hypothèse d'une pédogenèse en place est plausible. Il y aurait départ d'argile de l'horizon A, aussi bien par lessivage vertical que par érosion superficielle et accumulation d'argile au sommet de B aussi bien par apport vertical que par apport oblique : il s'agit là d'un lessivage typique. Quant au triage du sable dans l'horizon A et portant particulièrement sur le sable fin, il s'apparente fort à ce que nous avons déjà observé dans les trois profils précédents et serait le résultat d'une action ancienne des vers de terre.

Les teneurs en matière organique ne sont pas très élevées : 1,6 % en A1, avec un C/N de 13,5. Elles sont encore notables en A2, mais diminuent fortement en B : moins de 0,5 % et C/N inférieur à 10.

La capacité d'échange suit d'assez près les teneurs en argile : de 6-7 mé./100 g dans l'horizon A, elle passe à 14-15 mé./100 g dans l'horizon B. Le complexe absorbant est saturé essentiellement par le calcium ; le rapport Mg/Ca est généralement inférieur à 0,2 ; le sodium est dosable dans l'horizon B, mais en faible quantité (0,2 à 0,3 mé./100 g). La courbe de variation du pH, assez voisine de celle du rapport S/T, est caractéristique de ces sols hydromorphes avec son minimum, ici très accusé, au sommet de B. Le pH est basique dans l'horizon C.

Les réserves minérales sont élevées en calcium et surtout en magnésium, et particulièrement dans l'horizon B.

Les variations de teneurs en fer libre et total dans le profil appellent quelques remarques. La grande

(1) Analyses effectuées au Laboratoire de Sédimentologie, S.S.C. de l'ORSTOM, Bondy.

différence entre les teneurs en fer de l'horizon C et de l'horizon B fait penser, plutôt qu'à une accumulation, à une variation de la composition de la roche-mère dans le profil : le magnésium total est d'ailleurs directement lié aux teneurs en fer total. Cette remarque n'exclut cependant pas la possibilité d'une accumulation de fer au sommet de B, où l'on observe en même temps les maximums des teneurs en fer libre et fer total et du rapport Fe libre/Fer total. Il y aurait donc dans l'horizon B21 en même temps accumulation de fer et d'argile.

La fraction argileuse de ce profil a été étudiée d'une façon assez détaillée. Les minéraux argileux présents sont la kaolinite, l'illite et la montmorillonite, en proportion variable selon les horizons.

TABLEAU 5

Echantillons	Horizons	Minéraux argileux	Capacité d'échange mé./100 g	SiO ₂
				Al ₂ O ₃
BIB 51	A 1	Montmorillonite, illite et kaolinite (à peu près égale).	25,1	2,75
BIB 52	A 2		28,3	2,65
BIB 53	B 21	Kaolinite, illite, montmorillonite (dans l'ordre).	17,2	2,35
BIB 45	B 22		18,7	2,5
BIB 55	B 3	Montmorillonite et kaolinite égales, illite.	26,2	2,55
BIB 56	C		26,6	2,65

On observe en particulier un minimum des minéraux argileux à SiO₂/Al₂O₃ élevé et forte capacité d'échange (montmorillonite) au sommet de B, et un maximum dans les horizons B3 et C : ce minimum est mis en évidence aussi bien par l'étude aux Rayons X, que par l'analyse triacide (minimum du rapport (SiO₂/Al₂O₃) et la mesure de la capacité d'échange sur l'argile. La possibilité d'une destruction de minéraux argileux au sommet de B, en particulier de montmorillonite, n'est pas exclue ; d'autre part, l'horizon B21 est le siège d'une accumulation absolue d'argile et on pourrait penser qu'il s'agit essentiellement de kaolinite, mais celle-ci est connue pour être moins mobile que la montmorillonite : les analyses disponibles ne permettent pas de trancher.

Il faut noter également la présence de montmorillonite dans l'horizon d'altération sans qu'on puisse invoquer une quelconque accumulation d'argile à ce niveau, mais simplement une possibilité d'apport d'ions bivalents en provenance du haut de la colline, et provoquant une synthèse argileuse en milieu basique.

3.1.4.3. DISCUSSION

Un premier point est la difficulté de ranger ce profil dans les sols ferrugineux tropicaux qui font partie de la classe des sols fersiallitiques :

- présence de montmorillonite dans tout le profil à partir de l'horizon d'altération ;
- faible individualisation du fer (Fer libre/Fer total inférieur à 0,55), en particulier dans l'horizon B.

Par contre, un processus de lessivage sensu stricto, voisin de celui des sols ferrugineux tropicaux lessivés, est bien caractérisé :

- présence d'un horizon A2 caractéristique ;
- nette accumulation d'argile au sommet de B.

Enfin les critères d'hydromorphie sont les suivants :

- absence de critères d'hydromorphie dans l'horizon A, vraisemblablement en relation avec la présence d'un important lit de cailloux, qui doit améliorer le drainage de la partie supérieure du sol ;
- présence d'un pseudo-gley qui envahit tout l'horizon B.

Ce profil a un net caractère hybride, et il associe certaines caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés, en particulier le lessivage, à d'autres qui le rapprochent des sols hydromorphes. Mais, dans l'état actuel de la classification, et en se rendant compte de l'arbitraire du procédé, il a fallu trancher en prenant surtout en considération la nature du matériau et en faisant le rapprochement avec les profils qui viennent d'être décrits : le profil est classé comme sol hydromorphe minéral à pseudo-gley lessivé, faciès à accumulation d'argile.

3.2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Dans ce chapitre sont étudiées et précisées les caractéristiques de ces sols hydromorphes lithomorphes à partir d'observations et de résultats analytiques portant sur 15 à 18 profils.

3.2.1. Caractéristiques morphologiques et physiques

3.2.1.1. COULEUR

La couleur de ces sols est une caractéristique importante, qui les distingue assez nettement d'autres types de sols. L'étude a porté sur les horizons A1, A3 et B2 de 15 profils.

Les horizons A ont toujours leur couleur dans la planche 10 YR, et on note d'assez nettes différences entre sec et humide (voir photo n° 3) Les couleurs moyennes sont les suivantes :

	A1	A3
Humide	10 YR-3,25/1,75	10 YR-4/2,25
Sec	10 YR-5,25/1,5	10 YR-5,5/2,25

La différence de valeur entre sec et humide est en moyenne de 2 dans l'horizon A1 et 1,5 dans l'horizon A3, inférieure à ce qui est couramment donné pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés (MAGNIEN, 1964). On notera le faible éclaircissement de A3 par rapport à A1, ce qui ne nous a pas permis, dans les descriptions de profils, d'utiliser la nomenclature A2.

L'horizon B a des couleurs beaucoup plus variées, puisqu'on peut les noter dans les planches 7,5 YR, 10 YR, 2,5 Y et exceptionnellement 5 Y. Les différences entre sec et humide s'estompent presque totalement : au maximum 1 valeur. Il est difficile de faire une moyenne et on peut également dire que la valeur est dans la

majorité des cas supérieure à 5 et le chroma compris entre 2 et 4. Les faibles chroma, en particulier, donnent à ces sols une couleur terne en liaison avec la faible individualisation du fer et la présence de pseudo-gley. Les couleurs de l'horizon B placeraient ces sols entre les sols ferrugineux tropicaux à chroma plus élevé (4 à 6) et les vertisols à chroma souvent plus faible (1 à 2).

Il faut noter la différence entre l'hétérogénéité des couleurs de B, horizon en liaison étroite avec la roche-mère et sa composition, et l'homogénéité beaucoup plus grande des couleurs de l'horizon A, qui a subi dans tous les profils l'action pédogénétique des vers de terre.

3.2.1.2. TEXTURE

La texture et surtout les variations de texture dans le profil sont une caractéristique importante de ces sols.

Les études de profils avaient déjà montré l'opposition entre les deux horizons A et B du profil : les histogrammes des teneurs en argile et en sable fin, pour les horizons A1 et B2, sont particulièrement caractéristiques à cet égard.

L'examen des histogrammes de teneurs en argile est assez instructif : 93 % des échantillons se groupent entre 5 et 15 % d'argile pour l'horizon A1, 93 % des échantillons s'étalent entre 25 et 45 % d'argile pour l'horizon B2. Les teneurs en argile de B2 sont directement fonction du pourcentage de minéraux altérables de la roche-mère et il est donc normal que l'on observe une assez grande dispersion des chiffres. Au contraire, les teneurs en argile de A1 sont beaucoup plus en rapport avec les processus pédogénétiques qui affectent cet horizon et qui, quels qu'ils soient en réalité (lessivage, appauvrissement, érosion), sont directement liés à l'action des vers de terre : à partir d'un horizon B à teneur en argile variable, la pédogenèse due aux vers de terre façonne un horizon A de caractéristiques plus homogènes. Cette pédogenèse aboutit finalement à donner aux profils granulométriques, un aspect très particulier qui traduit, sans que l'on puisse parler de lessivage puisque dans la plupart des cas il n'y a pas d'accumulation nettement visible en B, un très fort appauvrissement en argile de l'horizon A : les indices d'entraînement de l'argile (rapport des teneurs en argile de l'horizon le moins argileux de A à l'horizon le plus argileux de B) sont particulièrement élevés et s'étalent de 1/3,2 à 1/8,7. Un autre point à noter est l'aspect du passage entre les horizons A et B : les teneurs en argile peuvent augmenter graduellement dans les horizons A3 et B1 (profil POL 16, fig. 8, profil POL 11, fig. 4) ; au contraire, dans les profils BIB 9 (fig. 8) et BIB 5 (fig. 7) le passage est très brutal : c'est souvent le cas pour les profils à structure prismatique au sommet de B.

L'histogramme des teneurs en sables fins (fig. 8) est moins parlant que celui des teneurs en argile : on y observe cependant l'hétérogénéité de la répartition pour l'horizon B2 et un certain regroupement pour l'horizon A1.

Le deuxième point important que l'on peut tirer de l'étude de la texture est l'enrichissement en sables fins de l'horizon A et particulièrement de l'horizon A1. Cet enrichissement ressort notamment des observations suivantes :

- histogramme des rapports S.F./S.G. (fig. 8) : pour les horizons A1 et B2, ce rapport est assez nettement, mais peut-être pas significativement plus élevé pour l'horizon A1 ;

- profils granulométriques : ils montrent très souvent un élargissement vers le haut de la bande S.F., en particulier le profil BIB 5 (fig. 7), le profil POL 16, ainsi que le profil moyen (fig. 8) ;

- courbes cumulatives de granulométrie des sables et calcul de l'hétérométrie : cette étude a été effectuée sur deux profils et confirme le triage des sables fins. Elle a mis en particulier en évidence :

- un enrichissement portant essentiellement sur la fraction comprise entre 30 et 250 μ ;

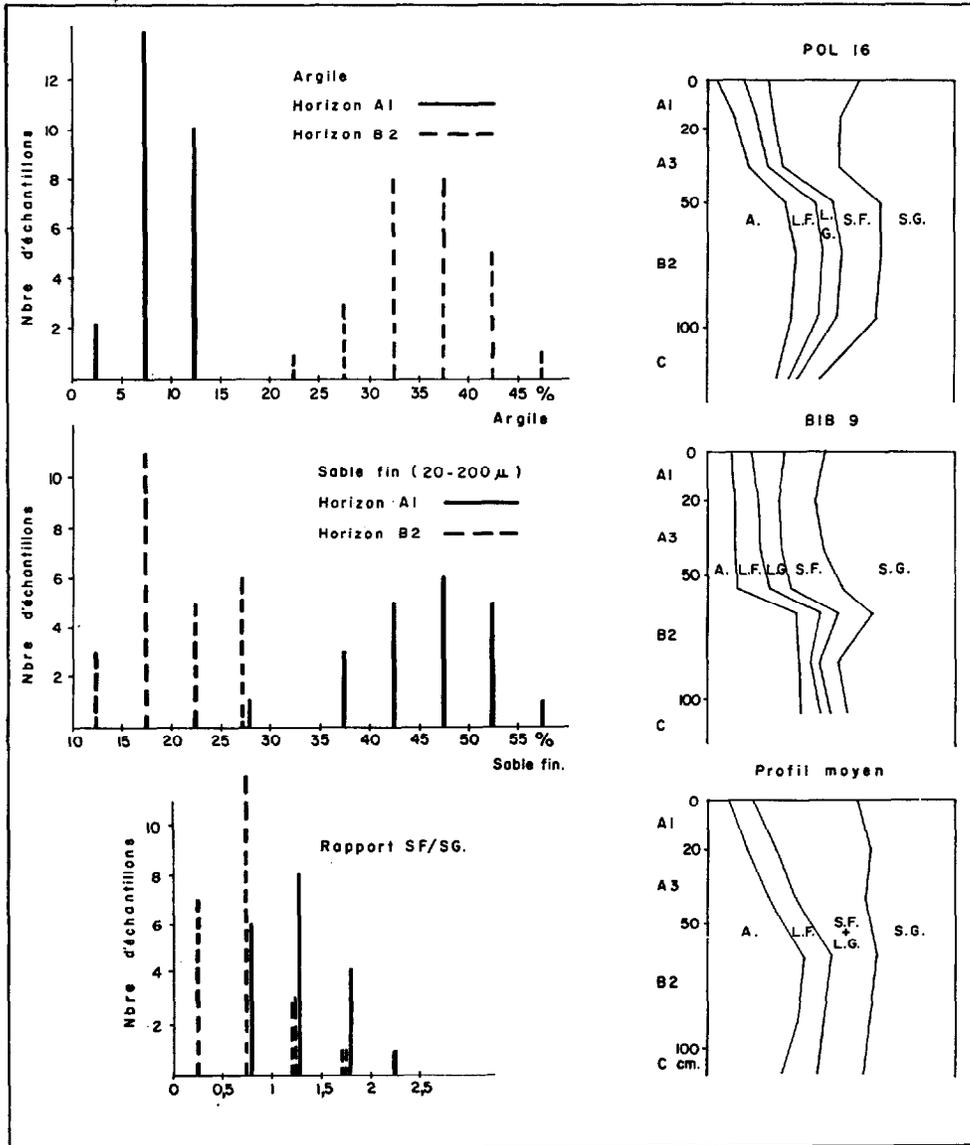


FIG. 8. — Granulométrie.

— une forte diminution de l'hétérométrie de B en A : celle-ci, élevée dans l'horizon B (He de 2,4 à plus de 3), ce qui est normal pour un matériau directement dérivé d'une roche par altération, passe à 1,3-1,6 dans l'horizon A ; un examen morphoscopique des sables excluait d'autre part tout apport éolien en surface.

Le triage n'a pu se faire que sur place et divers processus sont possibles. On peut d'abord mettre en cause un triage biologique sous l'action des vers de terre : une telle action a déjà été notée par NYE (1955) au Ghana. Deux hypothèses sont plausibles pour expliquer ce triage : les vers de terre n'ingèrent en profondeur que les particules inférieures à un certain diamètre et les grains non ingérés et non remontés verticalement dans les déjections deviennent plus nombreux en profondeur ; les vers de terre ont la possibilité de briser les grains les plus gros (BLANK et GIESECKE, 1924). On ne peut exclure ensuite un processus purement pédologique de fragmentation des grains de quartz, en particulier sous l'influence de l'hydromorphie et de très grandes variations dans les conditions d'humectation et de dessiccation : ce processus existe pour les podzols et est soupçonné pour les horizons lessivés des solonetz solodisés. Des études plus détaillées seraient nécessaires pour faire la part de ces différents processus dans ce phénomène de triage.

L'étude de la texture confirme ce que nous avons déjà décelé sur quelques profils : l'importance du lessivage en argile et de l'enrichissement en sable fin de l'horizon A ; l'absence à peu près générale d'accumulation vraie d'argile dans l'horizon B, dont la texture dérive par argilification de celle du matériau originel.

3.2.2. Caractéristiques chimiques

3.2.2.1. MATIÈRE ORGANIQUE

La figure 9 regroupe les principales caractéristiques concernant la matière organique : histogramme des teneurs en matière organique et du rapport C/N pour l'horizon A1, variation de la matière organique et du C/N dans deux profils typiques.

Les histogrammes pour l'horizon A1 nous montrent une assez grande dispersion des valeurs, aussi bien pour les teneurs en matière organique (0,5 à 2 %) que pour le rapport C/N (75 % des échantillons seulement sont compris entre 10 et 16) : ces données peuvent donc difficilement servir à caractériser ces sols. On peut simplement faire les remarques suivantes :

— les taux de matière organique ne sont pas très élevés (aucune accumulation de matière organique) et sont assez voisins de ceux d'autres sols de la région comme les sols ferrugineux tropicaux lessivés ;

— les valeurs du rapport C/N sont moyennes et même inférieures aux chiffres généralement admis pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés, ce qui paraît a priori paradoxal, s'agissant de sols hydromorphes.

L'hydromorphie ne se marque donc pratiquement pas, ni sur le taux de matière organique, ni sur le rapport C/N. Des observations morphologiques nous avaient déjà montré que l'horizon A1 était souvent exempt de toute trace d'hydromorphie et très aéré par la macroporosité due aux vers de terre : il doit donc être le siège d'une bonne activité biologique.

Les teneurs en matière organique et les rapports C/N sont parfois légèrement plus élevés dans les profils à faciès vertique, sans que cela soit une règle générale.

Dans le profil, teneurs en matière organique et rapports C/N décroissent plus ou moins régulièrement avec la profondeur : les chiffres atteints dans l'horizon B2 sont inférieurs à 5 ‰ de matière organique et à 10 pour le rapport C/N.

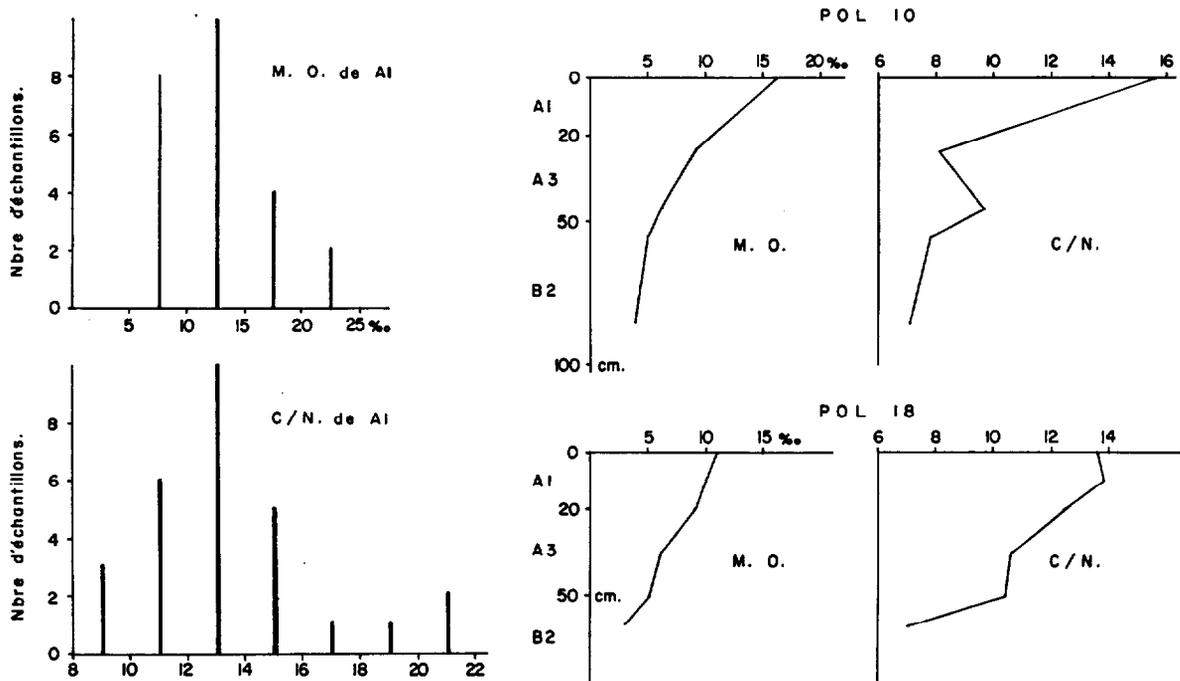


FIG. 9. — Matière organique.

Les chiffres moyens pour chaque horizon, bien que leur signification ne soit pas très grande compte tenu de la dispersion des données, sont les suivants :

	M.O. ‰	N ‰	C/N
A1	12,5	0,58	13,4
A3	6,5	0,36	11,1
B1	6,5	0,39	9,7
B2	4,5	0,32	8,4

3.2.2.2. CAPACITÉ D'ÉCHANGE ET BASES ÉCHANGEABLES

La capacité d'échange présente d'assez grandes variations puisque les valeurs extrêmes sont de 4 et 28 mé./100 g, mais ses liaisons avec d'autres caractéristiques sont assez nettes, quoique variables avec les horizons.

Ainsi pour l'horizon A1 il n'y a aucune corrélation entre la capacité d'échange et le taux d'argile, alors que la liaison est moyennement significative avec la teneur en matière organique (fig. 10). La droite de régression a pour équation :

$$T \text{ mé./100 g} = 0,16 \text{ M.O. } \text{‰} + 5,3 \text{ avec } r = 0,51, t = 1,12 \text{ pour } N = 24.$$

La capacité d'échange moyenne de 100 g de matière organique est d'environ 106 mé.

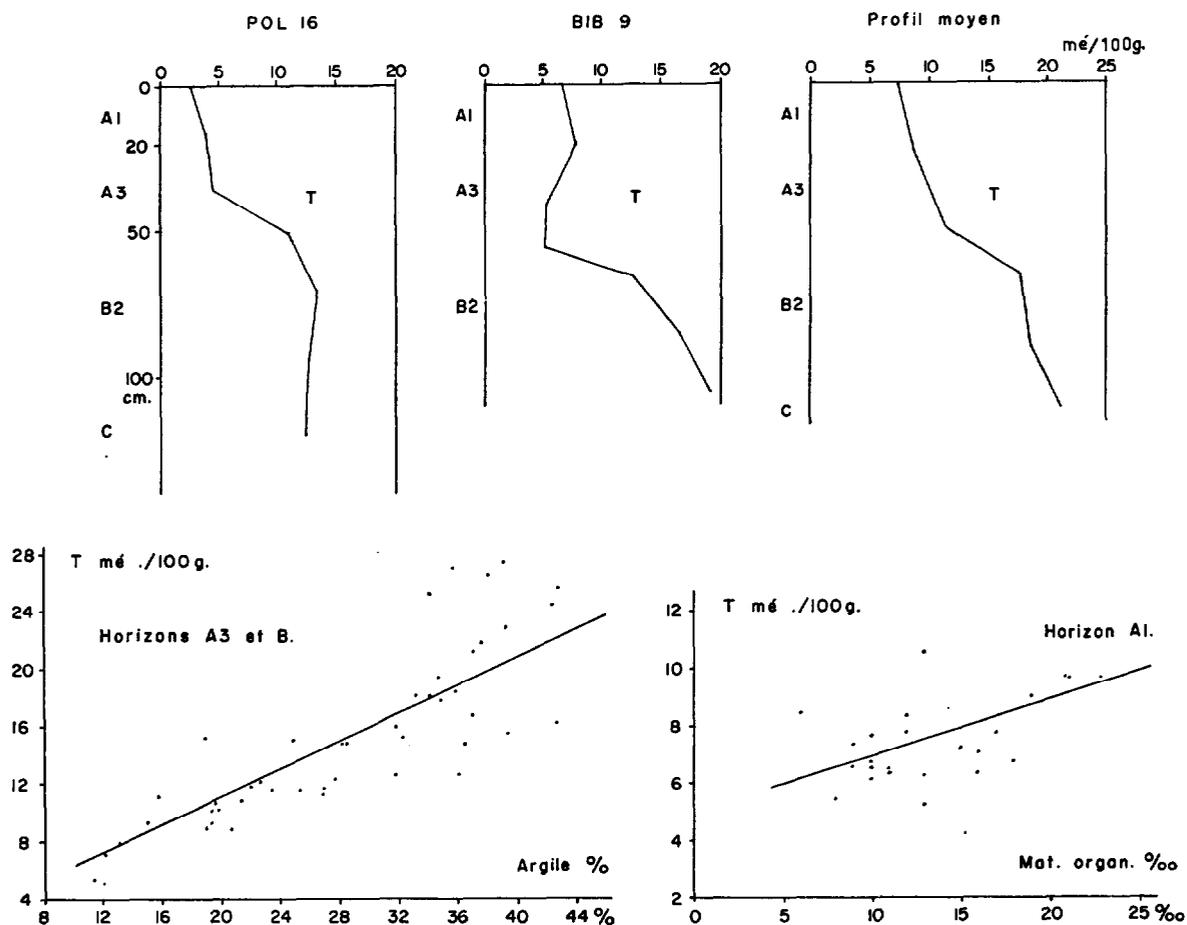


FIG. 10. — Capacité d'échange.

Au contraire, dans les horizons A3 et B, il n'y a aucune corrélation entre la capacité d'échange et les teneurs en matière organique, qui sont en général inférieures à 10 ‰, mais la liaison est hautement significative avec les teneurs en argile (fig. 10).

$$T \text{ mé./100 g} = 0,48 \text{ Arg. \%} + 1,4 \text{ avec } r = 0,79 \text{ et } t = 3,5 \text{ pour } N = 44.$$

La capacité d'échange de 100 g d'argile est d'environ 50 mé, valeur assez élevée qui ne peut s'expliquer que par la présence de minéraux argileux à forte capacité d'échange comme la montmorillonite.

Les variations de T dans le profil sont souvent brutales (fig. 10, profil BIB 9) et sont évidemment en liaison avec les taux d'argile.

L'étude des variations de la somme des bases échangeables présente beaucoup moins d'intérêt, car elle suit d'assez près la capacité d'échange. La répartition des bases échangeables est plus intéressante : les alcalino-terreux sont très nettement dominants, puisqu'ils constituent 95 à 98 % de la somme des bases ; les teneurs en potassium échangeables ne dépassent pas 0,5 mé./100 g dans l'horizon B et peuvent

s'abaisser à moins de 0,1 mé./100 g dans l'horizon A ; le sodium échangeable est souvent indosable, surtout dans l'horizon A, et peut monter exceptionnellement à 0,5 mé./100 g dans l'horizon B de certains profils.

3.2.2.3. pH ET S/T

Le pH est faiblement acide dans les horizons A et B, et devient généralement neutre à basique dans les horizons BC et C. Les variations du pH dans le profil sont plus caractéristiques que les valeurs absolues pour chaque horizon. Par exemple pour l'horizon A1, l'histogramme de la figure 11 nous montre une répartition hétérogène : la valeur du pH n'est donc pas une caractéristique essentielle de ces sols ; de plus une étude de corrélation montre qu'il n'y a aucune liaison significative entre le pH et, respectivement, la teneur en argile, la teneur en matière organique et le rapport C/N. Au contraire, les courbes de variations de pH dans le profil (fig. 11) sont très semblables : le pH baisse en profondeur jusqu'à la limite A/B et est minimum, soit à la base de A, soit au sommet de B ; puis il remonte dans tout l'horizon pour dépasser la neutralité dès qu'apparaît la roche altérée. Le profil moyen, bien que nous ayons déjà dit que les moyennes du pH par horizon ne soient pas très caractéristiques, présente les mêmes variations.

Les deux points importants semblent être :

- le pH basique de l'horizon C, qui favorise la formation de minéraux 2/1.
- le minimum du pH à la limite des deux horizons à caractéristiques très différentes.

Concernant ce dernier point, il est possible que, dans cette zone limite A/B, les conditions physico-chimiques (pH et rH₂), et peut-être surtout leurs variations en cours d'année, soient telles qu'elles favorisent des modifications minéralogiques sur certains minéraux argileux, et en particulier sur la montmorillonite que l'on sait très sensible en milieu acide.

L'étude du rapport S/T et de sa variation dans le profil n'amène aucun fait nouveau, si l'on sait

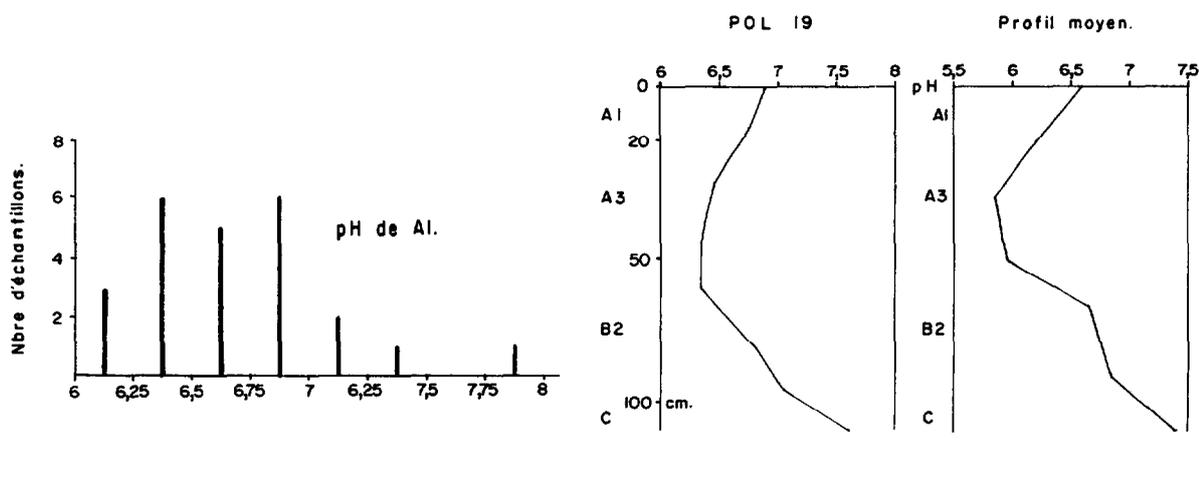


FIG. 11. — pH.

que la liaison entre le pH et le rapport S/T est fortement significative avec une droite de régression d'équation :

$$S/T = 0,12 \text{ pH} + 0,05 \text{ avec } r = 0,71, t = 0,006 \text{ et } N = 77.$$

3.2.2.4. RÉSERVES MINÉRALES (ATTAQUE NITRIQUE)

Les réserves minérales reflètent d'une part la relative diversité des roches qui sont à l'origine de ces sols hydromorphes, et d'autre part l'altération ménagée qu'elles ont subie : il en résulte que ces réserves sont en même temps appréciables et très variables. Leur total peut en effet varier de 5 à 80 mé/100 g, mais il oscille en général entre 15 et 20 mé/100 g pour l'horizon A et 35 et 45 mé/100 g pour l'horizon B : cette différence entre les deux horizons traduit une possibilité d'altération dans l'horizon A et une évacuation des bases libérées, ce qui ne serait pas le cas pour l'horizon B.

Les alcalino-terreux sont nettement dominants, principalement le magnésium. En effet, celui-ci est en moyenne deux fois et 5 fois plus abondant que le calcium respectivement dans l'horizon A et dans l'horizon B : ce fait tendrait à prouver que la poursuite de l'altération dans l'horizon A porterait particulièrement sur des minéraux riches en magnésium, qui peuvent être aussi bien des minéraux primaires que des minéraux secondaires (argiles). Les chiffres moyens sont les suivants :

	Ca	Mg
	mé/100 g	
Hor. A	5-8	10-15
Hor. B	5-9	20-40

Les alcalins sont nettement moins représentés et diminuent aussi dans l'horizon A, mais dans des proportions beaucoup moins fortes que le magnésium. On peut donner les chiffres moyens suivants :

	K	Na
	mé/100 g	
Hor. A	1-2,5	0,5-2
Hor. B	1,5-4	1-3

Le phosphore est peu représenté : les teneurs moyennes sont de l'ordre de 0,25 ‰ dans l'horizon A et 0,15 ‰ dans l'horizon B.

3.2.2.5. FER TOTAL ET FER LIBRE

Les teneurs en fer total ne sont jamais très élevées et sont variables avec les profils et les horizons : elles oscillent entre 1 et 3 % pour l'horizon A, et 2 et 6 % pour l'horizon B. Il en est de même pour les teneurs en fer libre : 0,5 à 2 % dans l'horizon A, 1 à 3 % dans l'horizon B.

Les variations dans le profil sont en général régulières et montrent une augmentation en profondeur des teneurs aussi bien en fer libre qu'en fer total. Excepté pour le profil BIB 5 (fig. 7) on ne décèle aucune accumulation absolue de fer, mais uniquement un lessivage à partir de l'horizon A. Le passage de l'horizon B à l'horizon C peut se signaler par des variations aussi bien en plus qu'en moins, sans que l'on puisse mettre formellement en cause soit une accumulation relative de fer, soit une légère variation dans la composition chimique de la roche-mère.

Les différences déjà décelées entre les horizons A et B pour le fer total et le fer libre sont encore

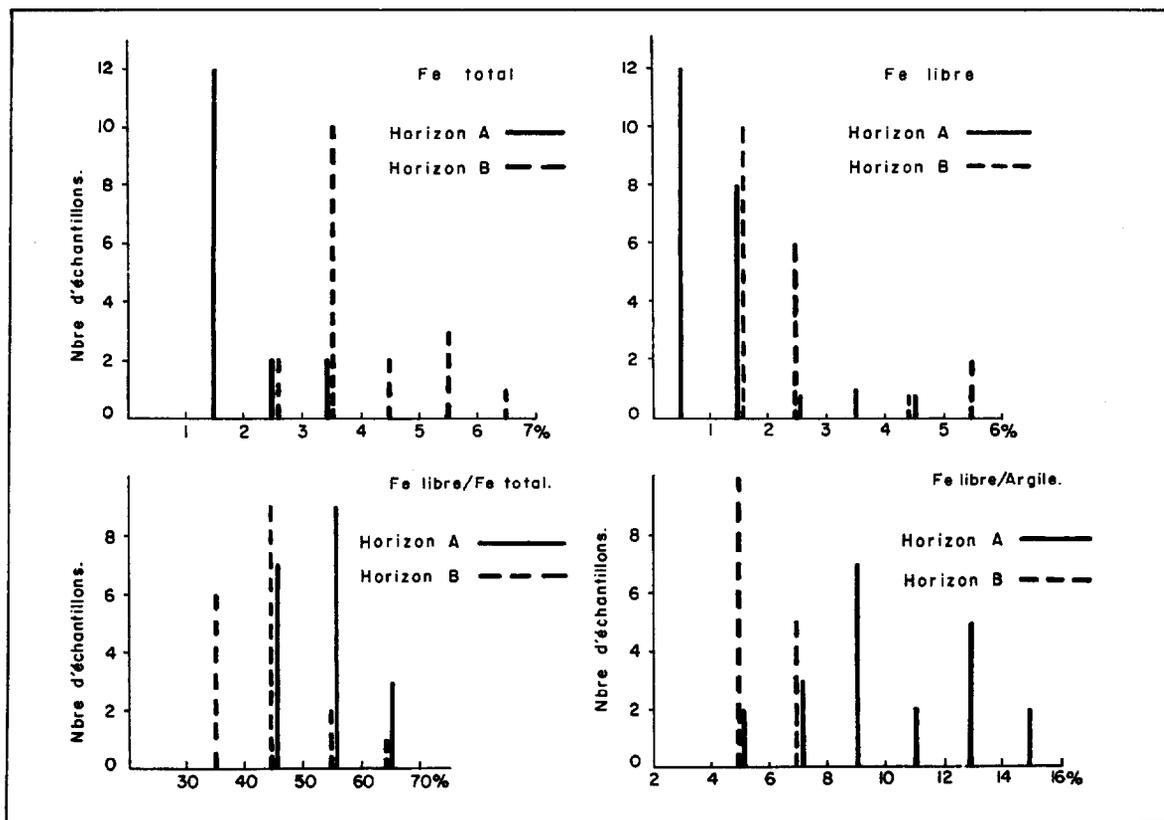


FIG. 12. — Fer libre et total.

plus nettes pour les rapports Fer libre/Fer total et Fer libre/Argile, bien que non parfaitement significatives du point de vue statistique, mais cependant bien visibles sur les graphiques (fig. 12) : rapports Fe libre/Fe total compris entre 40 et 70 % pour A et inférieur à 50 % pour B ; rapport Fe libre/Argile compris entre 8 et 14 % pour A et inférieur à 8 % pour B. Tout ceci montre bien le partage du sol entre deux horizons à pédogenèse divergente : un horizon A actif, d'où le fer peut être éliminé, mais où il peut aussi jouer son rôle d'améliorant de la structure, un horizon B peu actif, où le fer ne peut migrer et où il n'est pas en quantité suffisante pour empêcher les minéraux argileux gonflants de jouer leur rôle dans la formation du pseudo-gley.

3.2.3. Caractéristiques minéralogiques

3.2.3.1. ANALYSE CHIMIQUE

L'analyse triacide de la fraction argileuse a été effectuée sur 5 profils : les chiffres ne présentent que peu de variations dans le profil, mais sont souvent assez différents entre profils. Le tableau 6 reproduit les intervalles de variations des principaux rapports caractéristiques pour les 5 profils.

TABLEAU 6

Analyse triacide de l'argile

Profils	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fer libre/Fer total
POL 5	2,3 à 2,75	1,85 à 2,25	
POL 11	3,1 à 3,2	2,2 à 2,5	0,38 à 0,62
BIB 5	2,35 à 2,75	2 à 2,2	
RBA 4	2,9 à 3,35	2,2 à 2,6	
RBA 6	3,2 à 3,65	2,35 à 2,55	0,41 à 0,54

Le rapport SiO₂/Al₂O₃ est compris entre 2,3 et 3,65 donc nettement supérieur à 2 : il est le plus faible pour les profils à lessivage accentué et à accumulation d'argile (BIB 5), et le plus élevé pour les sols présentant morphologiquement un caractère vertique (RBA 6). La fraction argileuse contient certainement une proportion appréciable de minéraux 2/1 et les valeurs du rapport SiO₂/Al₂O₃ sont à peu près intermédiaires entre celles des sols ferrugineux tropicaux et celles des vertisols lithomorphes.

Les variations dans le profil du rapport SiO₂/Al₂O₃ ne sont pas significatives : nous avons déjà vu cependant (par 3.1.4.2) que le profil BIB 5 présentait un minimum assez net au sommet de l'horizon B. Pour les autres profils, il y a une légère tendance à l'augmentation du rapport SiO₂/Al₂O₃ en profondeur.

Le rapport SiO₂/R₂O₃ est compris entre 1,85 et 2,25, tandis que la teneur en fer total oscille entre 8 et 15 % : si l'on rappelle les chiffres moyens des sols rouges tropicaux (D. MARTIN et al., 1966) SiO₂/R₂O₃ inférieur à 2, et 15 à 20 % de fer total), on s'aperçoit que, comme pour la terre totale, la fraction argileuse des sols hydromorphes est nettement moins riche en fer. Cependant, et comme pour les sols rouges tropicaux, moins de 50 % du fer est sous forme libre et le reste doit être engagé en partie dans le réseau des argiles. Une étude récente (TRAUTH et al., 1967) a d'ailleurs montré que les minéraux déterminés comme montmorillonite dans les vertisols lithomorphes étaient ferrifères et appartenaient aux familles de la beidellite et de la nontronite : ces types d'argile doivent être les formes normales des minéraux gonflants à 14 Å dans tous les sols à altération bisiallitique (PEDRO, 1966) ou en partie bisiallitique du nord-Cameroun (vertisols lithomorphes, sols rouges tropicaux, sols hydromorphes à pseudo-gley lithomorphes, sols halomorphes lithomorphes).

3.2.3.2. CAPACITÉ D'ÉCHANGE

Quelques mesures de capacité d'échange (SUSINI, 1964) ont été effectuées sur la fraction inférieure à 2 μ (voir tableau 7). Les chiffres sont assez variables et oscillent entre 17 et 72 mé./100 g mais en fait 75 % des valeurs sont comprises entre 25 et 50 mé./100 g. Ces valeurs sont assez proches de celles connues pour les sols rouges tropicaux (30 à 50 mé./100 g), mais inférieures à celles des vertisols lithomorphes (supérieures à 50 mé./100 g) et nettement supérieures à celles présumées pour les sols ferrugineux tropicaux (sans doute inférieures à 20-25 mé./100 g). La présence d'un minéral à forte capacité d'échange du type montmorillonite est donc vraisemblable.

TABLEAU 7

Capacité d'échange de l'argile

Echantillons	T. mesurée/ 100 g d'A.	T. calculée pour 100 g d'A.	Echantillon	T. mesurée pour 100 g d'A.	T. calculée pour 100 g d'A.
BIB 51	25,1	68,7	POL 111	22,5	71,4
52	28,3	85,1	112	30,4	48,9
53	17,2	30,6	113	43,3	52,3
54	18,7	35,2	114	31,5	57,5
55	26,2	40,1	115	72,6	58,2
56	20,6	51,7	KEB 91	28,9	37,2
BIB 32	48,2	82,0	92	27,4	41,0
33	51,1	90,2	93	39,8	44,7
34	49,5	76,0	94	33,1	63,8

Le calcul de la capacité d'échange par rapport aux teneurs en argile ($T/A \times 100$ en mé.) donne des chiffres encore plus élevés, surtout pour les horizons organiques, mais plus sujets à caution.

Les variations dans le profil, aussi bien pour les valeurs mesurées que calculées, ne sont en général pas significatives, sauf pour le profil BIB 5 (voir par. 3.1.4.2).

3.2.3.3. ANALYSE THERMODIFFÉRENTIELLE

Des courbes d'A.T.D. ont été effectuées sur la fraction argileuse de plusieurs profils : la figure 13 en sélectionne quelques-unes pour des horizons variés de plusieurs profils. Ces courbes sont toutes assez voisines les unes des autres. Il faut noter l'importance du crochet endothermique entre 100 et 200 °, indice de la présence d'un minéral 2/1 de type montmorillonite. De même la kaolinite est bien mise en évidence par le crochet endothermique à 580° et un crochet exothermique plus ou moins bien caractérisé à 880-900°. On notera que pour l'échantillon BIB 54 le crochet de la montmorillonite est moins important, et ceux de la kaolinite plus importants, que pour les deux autres échantillons : si le pourcentage des différents types d'argile n'est pas le même selon les profils, les variations dans le profil sont beaucoup plus difficiles à déceler.

3.2.3.4. RAYONS X

L'étude aux rayons X de la fraction argileuse de 3 profils confirme en les précisant les résultats obtenus par d'autres méthodes.

La fraction argileuse de ces sols hydromorphes est caractérisée par la présence simultanée des trois minéraux argileux : kaolinite, illite et montmorillonite. Leur importance relative est variable selon

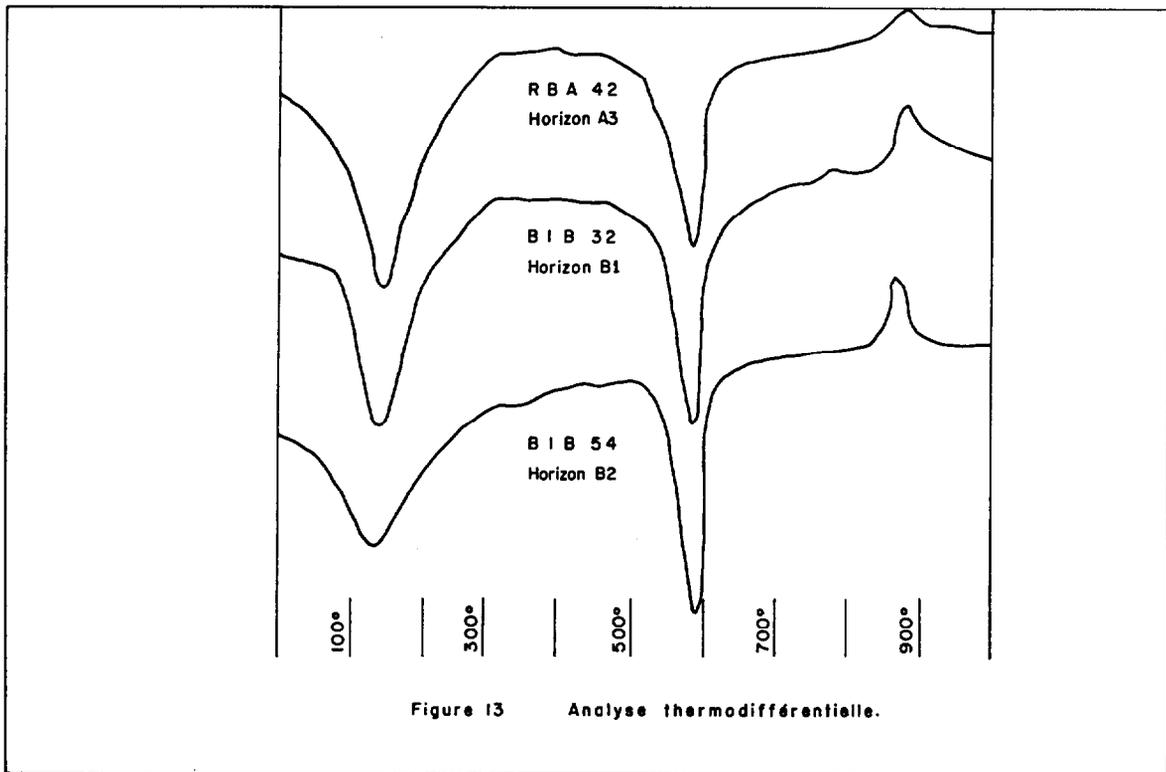


FIG. 13. — Analyse thermodifférentielle.

TABLEAU 8

Rayons X

Profil	Echantillons	Minéraux argileux
BIB 5	51, 52	Montmorillonite, kaolinite, illite (à peu près égale). Un peu de goethite.
	53, 54	Kaolinite, illite, montmorillonite.
	55, 56	Montmorillonite et kaolinite (égale). Illite.
POL 11	111, 112, 113	Montmorillonite, illite, kaolinite. Traces de goethite.
	114, 115	Montmorillonite importante bien cristallisée. Illite, kaolinite.
RBA 6	61, 62, 63	Montmorillonite importante bien cristallisée. Peu de kaolinite et d'illite.
	64, 65, 66	Montmorillonite importante bien cristallisée. Peu de kaolinite, traces d'illite.

les profils, et parfois dans le profil comme dans le profil BIB 5 (par. 3.1.4.2). L'importance de la montmorillonite augmente dans tous les sols à faciès verticale (profil RBA 6). On retiendra surtout la présence, dans tous les horizons des profils, de la montmorillonite, minéral argileux gonflant.

3.3. ESSAI D'EXPLICATION DE LA PÉDOGENÈSE ET CLASSIFICATION

3.3.1. Principaux critères de caractérisation

L'étude détaillée de quatre profils, puis des caractéristiques générales, permet de faire une bonne caractérisation de ces sols hydromorphes :

— sols à profil ABC formés sur roche granitique ou métamorphique relativement basique mais pauvre en fer, dans des conditions de drainage externe normal, sur des paysages récents formés de collines à pente moyenne à faible et à profil plutôt convexe : l'épaisseur A + B est comprise entre 1 et 1,5 m, l'horizon C peut être beaucoup plus épais.

— horizon A nettement lessivé en argile et en fer, et à forte activité biologique dans sa partie supérieure, et nets indices d'hydromorphie à sa partie inférieure.

— passage à l'horizon B toujours brutal ou tranché, parfois souligné par un lit de cailloux et marqué par un brusque changement de structure et parfois de texture.

— horizon B à pseudo-gley typique à taches et concrétions, à structure massive, parfois prismatique dans ses premiers centimètres, à faible porosité et forte consistance.

— plus que les valeurs absolues, sont caractéristiques les variations dans le profil de la granulométrie, du pH, des teneurs en fer libre et total et des rapports Fe libre/Fe total et Fe libre/Argile.

— fraction argileuse formée d'un mélange de minéraux 1/1 (kaolinite) et 2/1 (illite et montmorillonite) : rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ supérieur à 2,3 rapport fer libre/fer total compris entre 40 et 60 %, capacité d'échange comprise entre 25 et 50 mé./100 g.

3.3.2. Principaux processus de pédogenèse

Les principaux processus en cause dans la formation de ces sols sont la synthèse argileuse, l'action de l'hydromorphie et le lessivage. L'action de la matière organique paraît faible.

3.3.2.1. SYNTHÈSE ARGILEUSE

La synthèse argileuse commence dès l'horizon C en milieu non hydromorphe (présence de fer oxydé) mais riche en bases, par percolation insuffisante (pH basique) : les conditions sont favorables à la formation de minéraux 2/1 dont la montmorillonite.

Cette synthèse doit se poursuivre dans les horizons BC et B en milieu hydromorphe (présence de fer réduit) et à pH faiblement acide à neutre. Cependant, si on observe une forte augmentation des teneurs en argile entre les horizons C et B, il semble que l'essentiel de la synthèse argileuse soit terminé dans l'horizon BC. En particulier, la proportion de montmorillonite est déjà acquise à ce stade : elle n'augmente plus vers le haut du profil et peut même diminuer. Le passage de l'horizon C à l'horizon B, très net morphologiquement dans l'horizon BC, semble plus un réarrangement des minéraux présents (minéraux argileux et oxydes de fer) qu'une synthèse proprement dite : le problème serait d'ailleurs à étudier en détail.

Cette altération ménagée ou incomplète est au départ essentiellement liée au climat et à la roche-mère : percolation insuffisante pour évacuer les bases libérées par l'hydrolyse sous l'action des eaux chaudes de roches relativement basiques. Par la suite, la formation même du sol, en créant un horizon peu perméable qui va favoriser le ruissellement superficiel ou subsuperficiel, ne peut qu'accentuer cette insuffisance de percolation. Ce type d'altération, que l'on peut considérer comme climacique, semble le processus pédogénétique le plus important, car il influe fortement sur la suite de la pédogenèse. Dû en partie au type de roche-mère sur laquelle on l'observe, ce type d'altération justifie l'appellation générale de « lithomorphe » donnée à ces sols.

3.3.2.2. HYDROMORPHIE

L'hydromorphie est un autre processus important : elle marque morphologiquement presque tout le profil à partir de l'horizon A3 et surtout l'horizon B qui est un pseudo-gley typique ; les taches rouille peuvent apparaître dès l'horizon A1 ; les taches et concrétions d'oxydes de fer et de manganèse sont toujours présentes dans l'horizon B et fréquentes dans l'horizon A3.

Deux facteurs principaux sont à l'origine de l'hydromorphie :

— *la présence d'un minéral argileux gonflant* du type montmorillonite diminue fortement la perméabilité de l'horizon B dès qu'il est atteint par l'eau d'infiltration : l'horizon très peu poreux naturellement et suffisamment argileux, subit une asphyxie totale pendant une grande partie de l'année.

— *l'insuffisance quantitative du fer* pour pallier aux effets néfastes de la montmorillonite. Une comparaison avec les sols rouges tropicaux récemment étudiés dans une région voisine mais plus sèche, (800 à 1 000 mm) est particulièrement instructive (D. MARTIN et al., 1966).

	Fraction argileuse		Terre totale		
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Capacité d'échange mé/100 g	Fe libre %	Fe total %	Fe libre/Argile %
Sols rouges tropicaux	2,4 à 2,6	30 à 50	3 à 6,5	6 à 14	12 à 16
Sols hydromorphes lithomorphes ...	2,3 à 3,6	25 à 50	0,5 à 3	1 à 6	8 à 14 pour A 8 pour B

Pour une composition minéralogique voisine à base de kaolinite, illite et montmorillonite attestée par l'identité des indices globaux SiO₂/Al₂O₃ et capacité d'échange de l'argile, il faut noter la divergence très nette entre ces deux types de sols, concernant aussi bien les teneurs absolues en fer libre et fer total que le rapport Fe libre/Argile : la différence est surtout nette pour l'horizon B des sols hydromorphes. La différence dans les teneurs absolues ne peut s'expliquer par un départ de fer qui, comme on le verra plus loin, ne peut avoir lieu qu'à partir de l'horizon A : dès l'origine l'horizon B est nettement moins riche en fer, en liaison avec la composition chimique de la roche-mère.

Dans les sols rouges tropicaux, le fer en quantité suffisante doit jouer un rôle protecteur vis-à-vis de la montmorillonite, empêcher le gonflement de celle-ci et conserver ainsi au sol un excellent drainage

interne. Au contraire, dans les sols hydromorphes, l'insuffisance quantitative du fer ne lui permet pas de jouer ce rôle et l'hydromorphie s'installe naturellement.

L'hypothèse précédente n'est cependant basée que sur une constatation, car aucune étude n'a encore été effectuée sur ce problème, qui reste à résoudre.

3.3.2.3. LESSIVAGE

Le lessivage est, lui aussi, un processus particulièrement important et on ne sait s'il faut lui donner plus ou moins d'importance qu'à l'hydromorphie. Morphologiquement, il se marque davantage par la présence d'un important horizon lessivé que par l'existence d'un net horizon d'accumulation.

Le lessivage est particulièrement net dans l'horizon A, mais il présente des caractéristiques particulières. Dans la plupart des descriptions de profils, nous n'avons pas cru devoir utiliser la notation A2, parce qu'aucun horizon ne paraît correspondre à la définition d'un tel horizon (éclaircissement de la couleur, diminution du taux d'argile, augmentation de la porosité et disparition de la structure). Au contraire, l'horizon A3 présente toutes les caractéristiques d'un horizon de passage à l'horizon B : augmentation de la teneur en argile et de la consistance, diminution de la porosité. D'après les caractéristiques physico-chimiques (granulométrie, fer), c'est toujours l'horizon A1 qui est le plus lessivé, aussi peut-on se demander s'il ne faut pas envisager un horizon A2 diffus dans cet horizon à très forte porosité par action des vers de terre. En l'absence de vers de terre, un horizon A2 apparaît (profil BIB 5).

De même l'horizon B n'est souvent pas un horizon B stricto sensu, car il est difficile d'y déceler un apport réel d'argile : c'est surtout un horizon dû à la synthèse argileuse qui a commencé dans l'horizon C et s'est peut-être poursuivi dans l'horizon B. Cependant, l'existence de divers modes de transition entre A et B (augmentation progressive ou tranchée de la teneur en argile) indique une possibilité de différenciation : une transition tranchée, souvent liée à l'apparition d'un début de structure prismatique, serait l'indice d'une accumulation au sommet de B ; dans le cas de transition graduelle l'accumulation serait très diffuse ou nulle.

L'apparition du lessivage et surtout l'importance de l'horizon lessivé paraissent liées à la présence de vers de terre. Quel serait le rôle exact de ceux-ci ? Leur rôle ne serait en fait qu'indirect, d'ameublissement et d'aération du sol :

— l'ameublissement du sol facilite la pénétration de l'eau et sa percolation à travers tout l'horizon supérieur du sol ;

— l'aération favorise une forte activité biologique dans le sol pendant la période de non engorgement de l'horizon supérieur, en particulier au début et à la fin de la saison des pluies, avec tout ce que cela peut comporter concernant la formation d'acides humiques, les variations du pH et les conditions d'oxydo-réduction.

L'action du lessivage ne peut être complètement dissociée de celle de l'hydromorphie :

— l'imperméabilité de l'horizon B facilite l'engorgement de l'horizon A pendant la période la plus pluvieuse de l'année ;

— l'engorgement de A agit en particulier sur les conditions d'oxydo-réduction, ce qui facilite le lessivage du fer.

L'action du lessivage ne s'exercerait certainement pas de façon aussi nette, si, à la percolation verticale pratiquement faible, ne s'ajoutait la possibilité de migration oblique de l'eau, de l'argile et du fer par ruissellement superficiel ou à la limite A/B : le drainage externe, toujours assuré, et l'absence à peu près générale de concavité à la base des collines n'empêchent jamais une telle action de s'exercer. L'accumulation s'exerce donc surtout obliquement et, si elle est évidemment plus facile en bas de pente, une éva-

cuation partielle des produits lessivés par le réseau de drainage, en particulier du fer qu'on ne voit jamais s'accumuler de façon très visible, est toujours possible.

Ces caractéristiques du lessivage sont, somme toute, assez différentes de celles des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Dans ceux-ci, l'hydromorphie, quand elle existe, n'apparaît que comme stade ultime d'évolution d'un sol dans lequel l'accumulation a accentué la différenciation du sol en deux horizons tranchés ; au contraire dans les sols hydromorphes, que nous étudions ici, l'hydromorphie est antérieure au lessivage et provoquée par la nature même du matériau d'altération. L'absence d'accumulation du fer par suite de l'absence de concavité basale des collines est aussi une importante différence avec les sols ferrugineux tropicaux lessivés.

3.3.3. Corrélations avec d'autres pays

Des sols voisins de ceux que nous venons d'étudier ne semblent pas très fréquents en Afrique : il est vraisemblable qu'il en existe au Tchad, mais ils n'ont pas la même extension qu'au Cameroun et ils n'ont peut-être pas été classés de la même manière.

Au Togo, LAMOUREUX (1964) signale des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes qui paraissent assez voisins des sols hydromorphes lithomorphes : partage du profil en deux horizons différenciés, importance de l'hydromorphie et présence de montmorillonite dans l'horizon B associé à des rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ supérieurs à 2,4.

De même la carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000 (D'HOORE, 1964) comprend des sols lessivés (Highveld pseudo-podzolic soils), qui sont étudiés en Afrique du Sud, mais sont aussi signalés au Kenya et en Afrique du Nord : ce sont donc plutôt des sols de climats tempérés ou subhumides. Le profil est différencié en deux horizons très tranchés : A meuble et friable à moins de 20 % d'argile ; B textural argileux à structure polyédrique à prismatique et présence de pseudo-gley. Illite et montmorillonite sont présentes dans l'horizon B. Comme au Togo, le passage est fréquent à des sols halomorphes, en particulier à des solonetz et solonetz solodisés.

Dans la zone tempérée, ces sols s'apparentent assez nettement aux sols lessivés hydromorphes, qui font partie du groupe lessivé de la sous-classe des sols tempérés à mull : certains de ces sols sont souvent appelés « planosols » d'après une ancienne terminologie américaine. Deux études récentes ont montré qu'ils formaient une séquence évolutive, soit à partir de sols bruns et de sols lessivés (FEDOROFF, 1968), soit à partir de vertisols (FEDOROFF, FIES, 1968). Le processus de lessivage est plus ou moins étroitement lié à l'importance de l'hydromorphie et le stade ultime de la séquence est marqué par des phénomènes de podzolisation secondaire.

3.3.4. Place dans la classification

Des études et discussions précédentes nous pouvons résumer ainsi la pédogenèse de ces sols :

— *l'altération ménagée* d'une roche relativement basique conduit à la formation de montmorillonite entre autres minéraux argileux

— la faible proportion de fer dans la roche-mère se répercute sur le sol : l'insuffisance quantitative des hydroxydes de fer ne peut empêcher le gonflement de la montmorillonite, ce qui va provoquer des phénomènes d'*hydromorphie*, qui vont se traduire par l'apparition de *pseudo-gley* et de concrétions rouilles et noires.

— l'action des vers de terre, en provoquant et accentuant le *lessivage* des horizons supérieurs, va différencier le profil en deux horizons à caractéristiques très différentes, ce qui va orienter l'économie de l'eau dans le sol dans un sens qui ne peut que favoriser l'hydromorphie.

Dans le cadre de la classification française actuelle, en attendant d'éventuels bouleversements de celle-ci et tout en sachant ce que peut avoir d'arbitraire un tel choix, on est conduit à classer ces sols comme sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley. L'action de lessivage en argile et en fer, provoquée au départ, semble-t-il, et accentuée par l'action des vers de terre, est trop importante pour ne pas être utilisée comme critère de classification : cela conduit à créer dans le groupe des sols à pseudo-gley un sous-groupe lessivé, sans préjuger des divers processus qui peuvent provoquer ce lessivage, en adoptant comme définition du terme « lessivé » une acceptation assez large pour ne pas rendre obligatoire une accumulation visible.

L'étude de nombreux profils a montré l'existence de processus secondaires, qui peuvent être utilisés au niveau du faciès. On aurait ainsi la classification suivante :

CLASSE	:	Sols hydromorphes.
SOUS-CLASSE	:	Sols hydromorphes minéraux.
GROUPE	:	Sols à pseudo-gley.
SOUS-GROUPE	:	Sols à pseudo-gley lessivés.
Faciès modal		Profil POL 11, POL 18.
Faciès à début de structure dégradée		Profil BIB 9.
Faciès verticale		Profil RBA 6, POL 16.
Faciès à accumulation d'argile		Profil BIB 5.

Cette classification n'est cependant pas satisfaisante, aussi bien par la place importante accordée à l'hydromorphie, que par celle moindre accordée au lessivage. Il est vraisemblable que les pédologues américains (U.S.D.A, 1964-67) classeraient de tels sols comme alfisols, et plus exactement comme tropaqualfs, la classification américaine accordant une place importante au lessivage et à l'existence d'un horizon argilique.

L'étude de toposéquences, qui va suivre (1), permettra de renforcer encore cette conviction en mettant en évidence le fait que le lessivage dans les sols que nous appelons pour le moment « sols hydromorphes à pseudo-gley lessivés » n'est qu'un aspect du lessivage tropical.

(1) La seconde partie de cette étude paraîtra dans le n° 3 du vol. VII, 1969 des Cahiers ORSTOM, série Pédologie.

PLANCHE I

Horizon A
à vers de terre



Horizon B massif à
taches et concrétions noires



Horizon BC

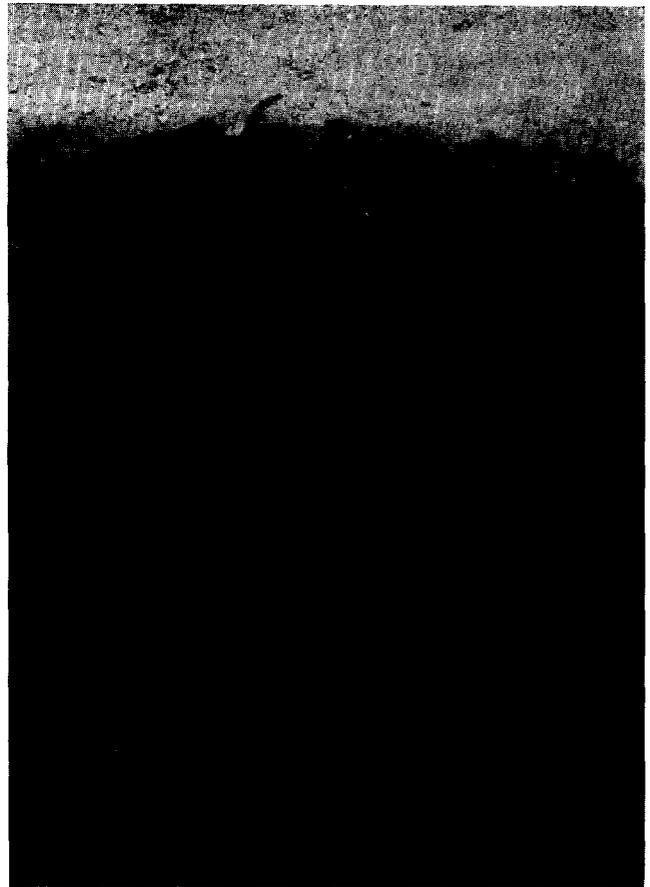


Photo n° 1. — Profil POL 11.

Cliché D. Martin



Photo n° 2. — Déjections de vers de terre.

Cliché D. Martin

PLANCHE II

Horizon A₁ à vers de terre



Horizon A₃ plus massif



Horizon B massif à pseudo-gley

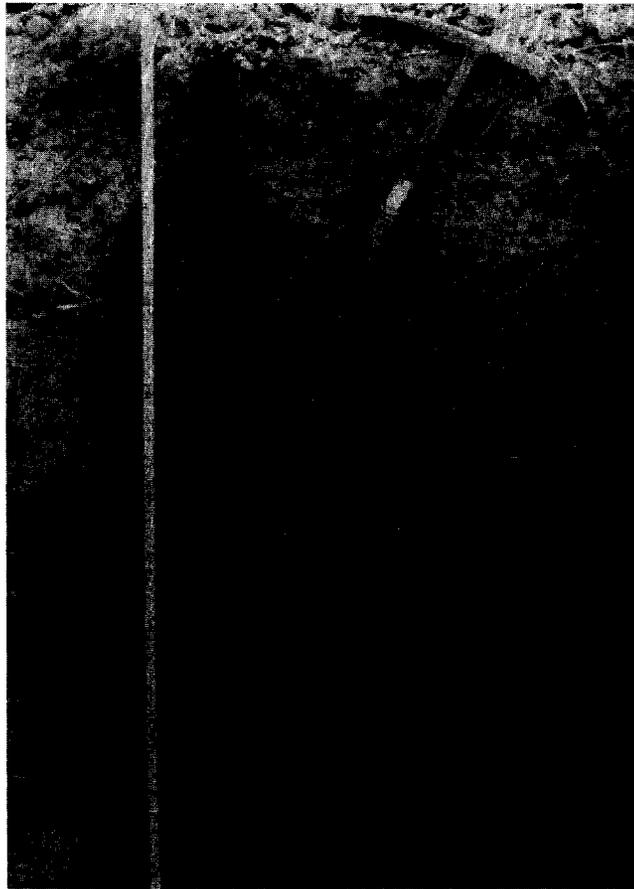


Photo n° 3. — Profil POL 18.

Cliché D. Martin



Cliché D. Martin

Photo n° 4. — Culture de sorgho sur sols hydromorphes à pseudo-gley