

O

N

A

R

E

S

T

INSTITUT DE RECHERCHES AGRICOLES ET FORESTIÈRES  
( I. R. A. F. )

---

ETUDE D'UNE TOPOSEQUENCE  
DE SOLS FERRALLITIQUES ROUGES  
DE L'EST DU CAMEROUN

organisation morphologique  
caractéristiques physiques et hydriques

J. P. MULLER  
F. X. HUMBEL  
Pédologues ORSTOM  
1977

ETUDE D'UNE TOPOSEQUENCE DE  
SOLS FERRALLITIQUES ROUGES  
DE L'EST DU CAMEROUN



- 1ère partie : Premières données sur l'organisation  
morphologique - par J.P. MULLER\*
- 2ème partie : Quelques caractéristiques physiques  
et hydriques - par F.X. HUMBEL\*\*

1975 - 1977  
Cote P. 204

\* Pédologue de l'ORSTOM - Institut de Recherches Agricoles  
et Forestières (IRAF) - Station Agronomique de NKOLBISSON,  
B.P. 2067, YAOUNDE, Cameroun.

\*\* Pédologue de l'ORSTOM - Centre ORSTOM de Cayenne  
B.P. 165 - 97 301 CAYENNE Cedex.

Etudes réalisées au Cameroun de 1972 à 1974.

\* COPYRIGHT ONAREST - J.P. MULLER et F.X. HUMBEL

"Droits de reproduction et d'adaptation soumis pour tous pays à l'autorisation écrite préalable des dépositaires du copyright. Sont autorisés les citations et reproductions de figures accompagnées des références bibliographiques.

All rights reserved. No part of this book may be translated or reproduced by any means without the prior written permission from the copyright owners. Quotations and reproductions of drawings can be made with bibliographical references".

L'hydromorphie est avec l'arrangement structural une caractéristique essentielle des profils de bas de pente. Au développement de l'hydromorphie correspond une décoloration des profils, l'apparition d'une nodulation ferrugineuse actuelle et discontinue, un lessivage plus prononcé des horizons de surface, une maturation structurale plus faible. Un "bouchon kaolinique" pourrait apparaître au toit de la nappe.

L'abondance des accumulations ferrugineuses reliques, discontinues avec les horizons meubles, témoigne que la (ou les) pédogénèse(s) ancienne(s) était(ent) fortement ferruginisante(s). Les horizons nodulaires et les cuirasses correspondantes sont actuellement l'objet d'un démantèlement.

Les variations verticales de densité apparente, porosité totale et perméabilité reflètent fidèlement la séquence verticale des organisations. L'écart entre les teneurs pondérales (60-70 %) et volumiques (25-35 %) d'argile des sols d'amont exprime les effets d'allègement de la maturation structurale. Le stock d'humidité en saison humide est de 2 m pour 5 m de sol meuble d'interfluve, soit un taux moyen d'occupation de 40 %. Sa variation saisonnière (400 MM en 1972) affecte au moins une épaisseur de 4 M. Le flux d'eau, essentiellement vertical sur la majeure partie de la séquence paraît s'orienter obliquement au toit de la nappe phréatique. Un ralentissement de drainage à la base des horizons A et dans le B de consistance compact est un trait important de la dynamique actuelle : La faible perméabilité de ces horizons assure un contact prolongé entre l'eau infiltrée et le plasma, dans un milieu par ailleurs correctement drainé.

## RESUME :

A l'Est du Cameroun, les sols ferrallitiques rouges et épais, à horizons indurés profonds, constituent le terme médian, de loin le plus développé, de vastes séquences régionales dont l'amont est représenté par des séquences de sols rajeunis, à cuirasse sommitale, et l'aval, réduit, composé de séquences de sols "jaunes" à cuirassement de bas de pente et ségrégation marquée des hydroxydes de fer. Un premier essai de confrontation entre données morphologiques et données physiques a été tenté sur ces sols rouges organisés sur un versant convexe. Après avoir examiné en détail l'organisation macromorphologique des horizons meubles de 7 profils, nous avons analysé les caractéristiques physiques et hydriques de 4 d'entre eux.

La structure étant avec la couleur le principal critère de différenciation des horizons des sols du versant, les horizons meubles forment essentiellement une séquence verticale d'organisation. Cette dernière est l'expression morphologique de deux groupes principaux de mécanismes : Microstructuration des horizons B rouges, profonds et compacts, qui favorise l'aération et accentue la friabilité des matériaux ; "fonte" des structures vers la surface, à l'origine d'un accroissement de la dureté des agrégats et de la compacité des horizons de consistance. L'appauvrissement en argile, phénomène secondaire, revêt une forme pondérale dans les horizons de surface (perte réelle en argile) et une forme volumique dans les horizons microstructurés (réorganisation structurale). Le développement des horizons humifères et de pénétration humique est réduit en regard de l'épaisseur des profils. Les horizons d'accumulation de matière organique sont d'autant plus épais et contrastés que la partie supérieure des profils est jaune et appauvrie en argile : Les horizons rouges, proches de la surface dans ces profils, limitent l'emprise de la faune et de la matière organique sur la différenciation morphologique, tant dans son ampleur que dans son intensité. Certaines fluctuations de l'expression de ces divers phénomènes de l'amont vers l'aval sont discutées ; mais un nombre insuffisant de fosses ne nous a pas permis d'accéder à une connaissance précise des organisations latérales.

## 1 - INTRODUCTION :

Les sols rouges profonds variablement indurés couvrent l'essentiel du domaine ferrallitique Centre-Camerounais. Le problème capital de la genèse de cet immense manteau rouge doit être abordé par JM. RIEFFEL dans l'étude de deux toposéquences situées à proximité de MINTA et de MEIGANGA. Nous nous sommes, pour notre part, plus particulièrement intéressé aux modifications qui affectent ce matériau dans des pédogenèses plus récentes; ce qui explique que l'altérite profonde n'ait été atteinte que dans un seul profil. Ces modifications sont de deux ordres principaux : Les différenciations de surface et les transformations des avals de séquence sous l'action notamment de l'hydromorphie. Elles sont abordées par l'étude de séquences verticales et latérales d'horizons. L'étude dynamique entreprise parallèlement, certes limitée, donne les premiers renseignements sur les caractéristiques physiques et hydriques de ces sols en relation avec ces différenciations.

Ces observations entrent dans le double cadre d'une étude pédogénétique entreprise par JP. MULLER dans le Centre-Est Cameroun (région traversée par le TRANSCAMEROUNAIS) et d'une étude latitudinale de la dynamique des fluides dans divers paysages pédologiques camerounais, notamment du domaine ferrallitique, menée par FX. HUMBEL.

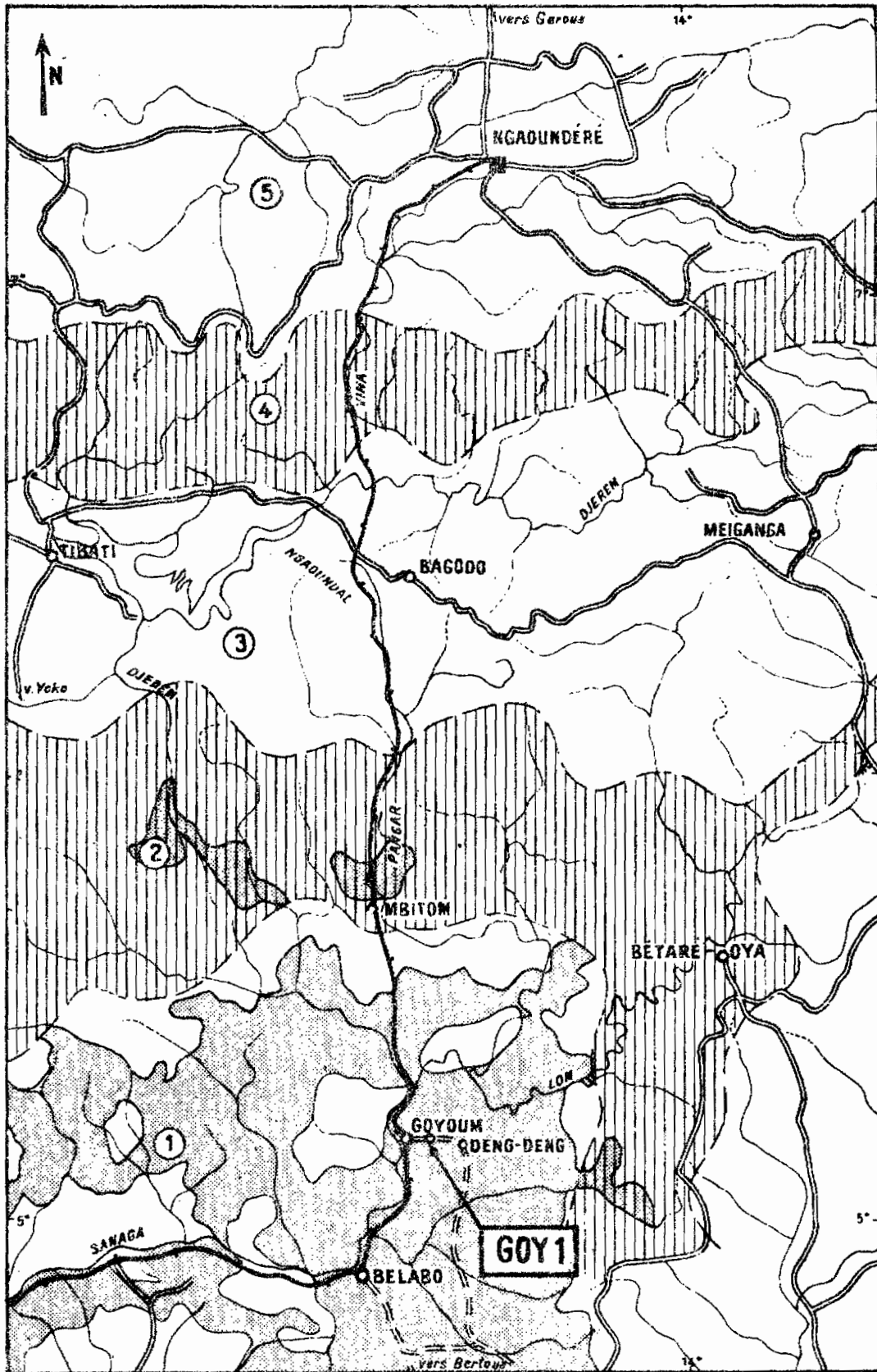
Nous nous sommes aperçus que dans cette région les sols ferrallitiques rouges constituaient le terme médian, de loin le plus développé, de vastes séquences régionales dont le terme amont est représenté par des séquences de sols rajeunis, à cuirasse sommitale, et le terme aval, réduit, composé de séquences de sols jaunes à cuirassement de bas de pente et à hydromorphie marquée. L'une de ces séquences régionales, caractéristique de la partie Est du Bassin de la SANAGA, est bien représentée à GOYOUM, sur un axe perpendiculaire au TRANSCAMEROUNAIS. D'où le choix du site. Les termes amont (GOY 2) et aval (GOY 3) seront présentés dans des rapports distincts.

Un nombre limité de fosses a été observé et seules quelques unes d'entre elles ont fait l'objet de mesures physiques et hydriques. Il s'agissait en effet d'un premier essai de confrontation entre données morphologiques et données physiques sur ce type de sol. Nous n'avons donc pas la prétention d'avoir fait une étude






dynamique exhaustive et les conclusions et interprétations en seront limitées d'autant.

Après avoir examiné l'organisation macromorphologique de 8 profils, nous analyserons les caractéristiques physiques et hydriques de 4 d'entre eux. Une tentative de corrélation de ces données sera faite en conclusion.

Fig 1: CROQUIS DE SITUATION



Echelle 1:1.500.000

- |   |   |   |                           |
|---|---|---|---------------------------|
|  | Forêt   |  | Cours d'eau               |
|  | Savane  |  | Axes routiers             |
|  | Zones intermédiaires de rajeunissement<br>(forêt en régénération) |  | Tracé du Transcamerounais |



1ère partie : Premières données sur l'organisation  
morphologique - par J.P. MULLER

2 - LES FACTEURS DU MILIEU.

21 - Climat :

Les seuls relevés précis et statistiquement exploitables dont nous disposons concernent la station de BERTOUA située à environ 75 km au Sud-Est de GOYOUM. Un pluviomètre récemment installé nous a cependant permis d'apprécier la pluviométrie par décade à GOYOUM en 1972 et d'interpréter ainsi le comportement hydrique des profils durant la même année (cf. fig. 23).

La séquence étudiée se situe dans la partie Nord de la Zone de climat sub-équatorial de type "guinéen forestier", variété "haut-camerounien" : "La grande saison sèche s'étend encore généralement sur trois mois, mais déjà la petite saison sèche, sans être vraiment accentuée n'est plus négligeable" (JB. SUCHEL, 1972).

Les principales caractéristiques de ce climat sont :

- Une pluviométrie voisine de 1500 mm avec une répartition de type sub-équatorial.
- Des températures fluctuant peu entre 23 et 25°, avec maxima situés vers février et avril. Les minima moyens tombent rarement au-dessous de 17°.
- 120 jours environ de pluie par an.
- Une humidité relative variant de 70 à 90 % (moyenne annuelle de 80 % à BERTOUA).
- Une faible évaporation voisine de 750 mm.
- Une insolation de l'ordre de 1800 heures/an.
- Une influence déjà sensible de l'harmattan venant du Nord.

22 - Géologie :

Les formations géologiques de la région appartiennent au socle ancien. Il s'agit pour l'essentiel de granites calco-alcalins dont le faciès à biotite, indifférencié et hétérogène (GAZEL, 1955) est le plus fréquent.

Dans le secteur compris entre GOYOUM et DENG-DENG, sont reconnus des gneiss à 2 micas. Dans cette séquence, comme dans celle située en amont (cf. ci-dessous) il s'agit en fait d'un faciès très micacé, souvent pauvre en feldspaths, très voisin de celui des micaschistes. A la base du seul profil où l'altérite a été atteint la muscovite semble être plus abondante que la biotite

Des gneiss à biotite sont signalés plus à l'Ouest, de l'autre côté de la SANAGA. Le faciès de la roche est en fait très voisin de celui des gneiss à 2 micas.

Il est intéressant de remarquer dans ces gneiss la présence constante de grenats, particulièrement abondants en GOY 3 et celle de nombreuses lentilles et intercalations de quartz, parfois pegmatiques, dont un exemplaire a été observé dans le profil GOY 17.

Retenons aussi que la schistosité est très marquée et de pendage faible.

### 23 - Végétation :

La région de GOYOUM se situe dans la zone dite de transition entre forêt et savane. Il s'agit en fait localement d'une enclave forestière (forêt de DENG-DENG) semi-décidue à Celtis et Sterculiacées, en zone post-forestière congo-guinéenne (LETOUZEY, Atlas du Cameroun, 1958).

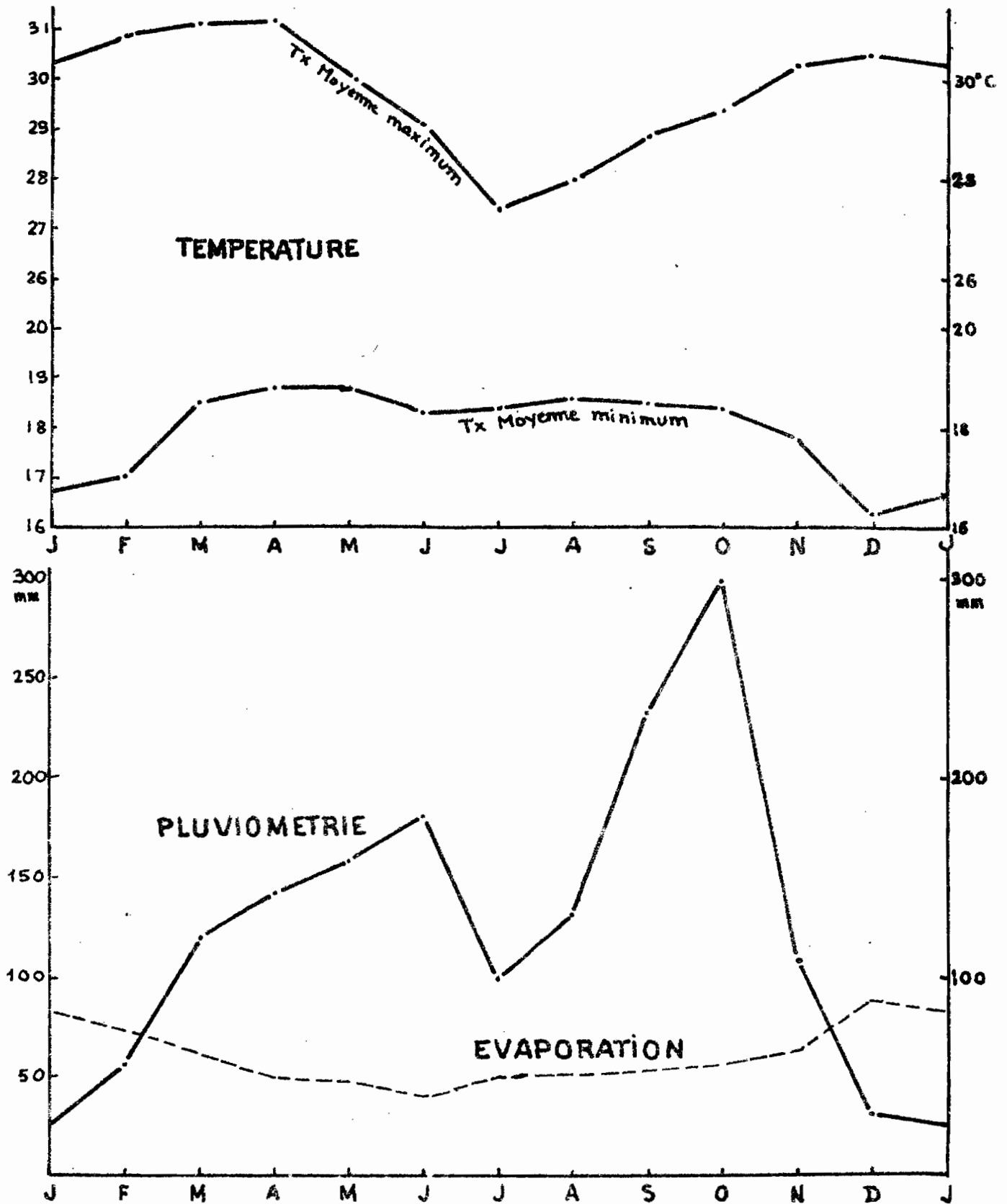
Le long de la piste GOYOUM - DENG-DENG, sur laquelle se greffe la séquence, cette forêt a été localement et anciennement défrichée. La composition floristique de la forêt réinstallée diffère donc légèrement du type primitif : L'étagement de la végétation est indiscernable, les grands arbres au fût droit plus espacés procurent un ombrage moins dense qui favorise le développement d'un sous-bois touffu où s'entremêlent notamment des Maranthacées et des Palmacées.

Aucune des petites savanes herbacées et arbustives qui s'égrènent le long de la SANAGA ne s'est installée sur le long interfluve portant nos trois séquences.

### 24 - Morphogenèse et pédogenèse :

Dans un précédent rapport (JP. MULLER, 1974) nous avons signalé que l'axe Sud-Nord du TRANSCAMEROUNAIS traversait un relief étagé composé de trois "surfaces" raccordées par deux zones de rajeunissement. L'ensemble des trois séquences GOY se situent sur la surface basse de GOYOUM - DENG-DENG (1), partie intégrante du Bassin de la SANAGA, d'altitude moyenne 600-700 m, au modelé en "demi-orange", typique du domaine ferrallitique, le plus largement représenté. A ce modelé correspond une large extension des sols

Fig 2 : DONNÉES CLIMATIQUES  
station de BERTOUA



rouges épais, une généralisation des accumulations ferrugineuses profondes, avec prépondérance des accumulations discontinues (horizons nodulaires) sur les formations continues (cuirasses).

En fait, comme nous l'avions souligné dans l'introduction, ces sols rouges forment le terme médian, le plus largement développé, de longues séquences régionales composées de trois ensembles morpho-pédologiques (fig. 3) comprenant (J.P. MULLER, 1974) :

- A l'amont : Des modelés à collines hautes, à base étroite, à versant convexe puis sensiblement rectiligne, à pente très forte (50-80%), à thalwegs étroits à forme en "V". Les sols sont rouges et indurés en haut de pente (cuirasse sommitale en voie de démantèlement et horizons nodulaires), bruns ou jaunes "pénévolués" sur les pentes (séquence type GOY 2).
- Au centre : Des modelés convexes, "demi-orange" typiques, à bas de versant abrupt, à thalweg étroit à forme en "U", à pente moyenne (30-50%). Les sols sont rouges et épais, à cuirasse et horizons nodulaires généralement profonds, à jaunissement occasionnel en haut de pente, et jaunissement avec hydromorphie localisée en bas de pente (séquence type GOY 1 étudiée ici).
- A l'aval : Des modelés mous, à collines larges surbaissées, souvent dessymétriques, adossées par un versant étroit aux unités de modelé précédentes, et se raccordant par un versant convexo-concave peu pentu (10-20%) à un "glacis" ou des flats relativement larges (20-50 m). Les sols sont jaunes, à hydromorphie relativement prononcée, à cuirasse peu profonde à différenciation maximum de bas de pente, à appauvrissement superficiel quasi-généralisé et différenciation latérale souvent marquée (séquence type GOY 3).

L'ensemble amont se situerait plutôt à proximité de la zone de rajeunissement dite ici du PANGAR, qui forme un demi-arc au Nord et à l'Est. Le terme aval est localisé en bordure de la SANAGA. Ces trois ensembles inégaux sont exceptionnellement proches sur le long interfluve Est-Ouest que sillonne la piste GOYOUM - DENG-DENG.

### 3 - ORGANISATION MACROMORPHOLOGIQUE DE LA SEQUENCE DE SOLS :

La séquence se compose d'un interfluve convexe portant des sols ferrallitiques rouges et épais, se raccordant par un bas de pente, abrupt, métrique, à un bas-fond hydromorphe à nappe sub-affleurante et à sols jaunes relativement sableux.

#### 31 - Les sols ferrallitiques :

Nous distinguerons un domaine amont à sols très profonds dans lesquels le creusement des fosses s'est arrêté au niveau d'une cuirasse dure atteinte à diverses profondeurs (impossibilité pratique d'effectuer des mesures physiques dans et au-delà de cette cuirasse), d'un domaine aval sans cuirasse pour lequel une hydromorphie se manifeste à divers degrés à la base des profils.

##### 311 - Le domaine amont.

###### 3111 - Sols rouges profonds à jaunissement de haut de pente:

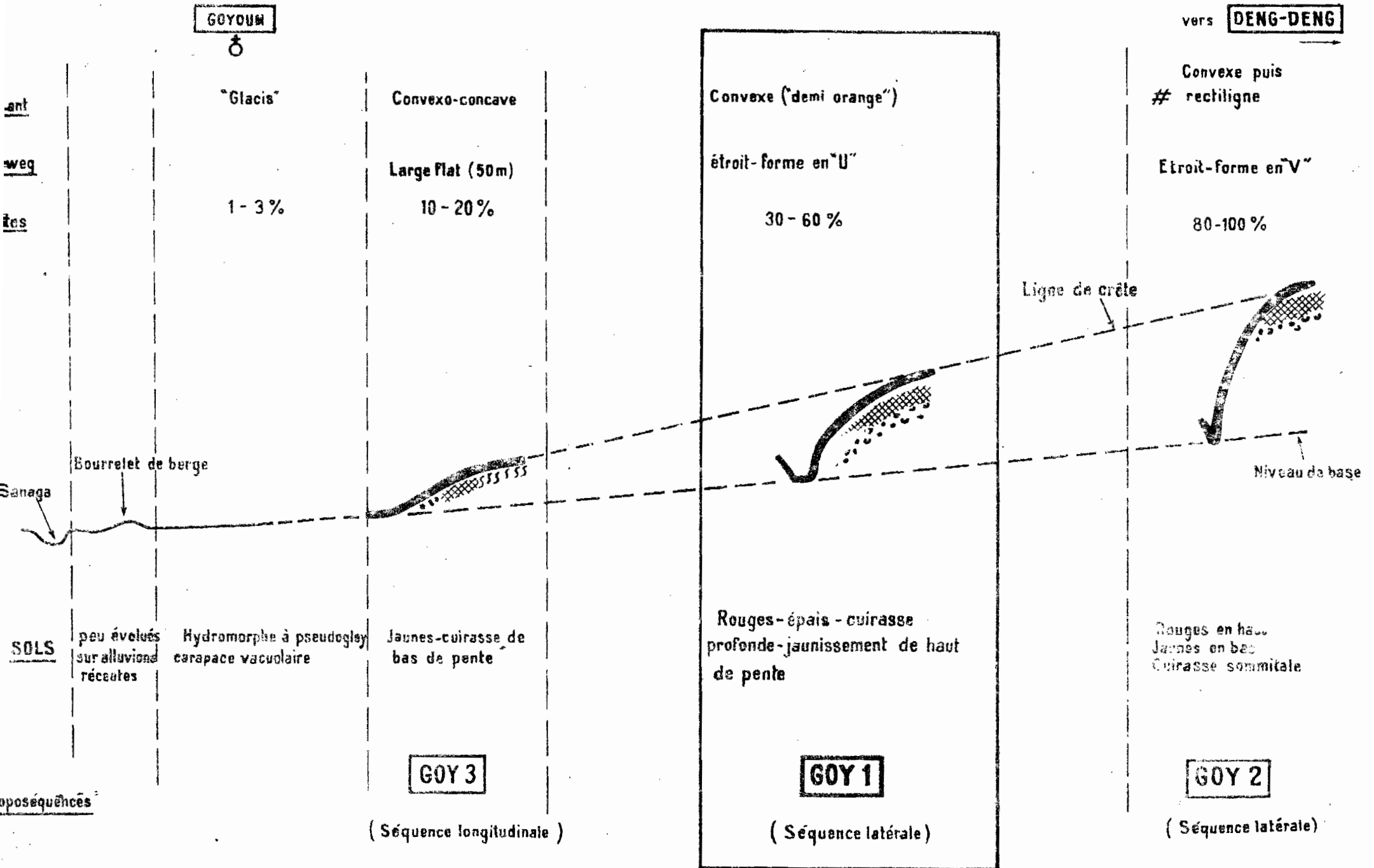
Description du profil GOY 11 :  
.....

En surface litière discontinue de feuilles, branches, fruits, brindilles. Nombreux turricules 1-5 cm, simples ou complexes.

- de 0 à 3 cm : Frais. 10 YR 3/1 en surface, 3/2 ensuite, humide. Gris très foncé. Quelques débris végétaux inférieurs à 1 cm, incorporés dans la masse par la faune. Matière organique non directement décelable. Très nombreuses taches, 10 YR 2/1, noires, sans relations visibles avec les autres caractères, hétérogènes dans leurs dimensions, aussi à moins cohérentes; à limites peu nettes, peu contrastées. Texture argilo-sableuse, à sables grossiers quartzeux. Structure nette, assemblage net, polyédrique subanguleuse fine et moyenne, (0,5-1 cm), généralisée, associée à une structure grumeleuse fine. Volume des vides important entre agrégats. Meuble (voire bouillant), mais cohésion assurée par un réseau racinaire très dense, fin et très fin. Agrégats à pores très nombreux, tubulaires, très fins et fins. Très forte macroporosité par vacuoles et vésicules, 1-10 mm, abondantes. Porosité sans orientation dominante. Grains de sable grossier, quartzeux, déliés, blanchis, sur parois de certains macro-tubules. Friable à peu friable. Nombreuses racines, fines, sub-horizontales, pénétrant les agrégats. Chevelu très dense. Activité très forte. Turricules. Coprolithes. Cavités. Transition nette de teinte, structure, activité, régulière.

- de 3 à 15 cm : Frais. 7,5 YR 4/4, frais. Brun. Taches, 10 YR 4/3, peu étendues, sans relations visibles avec les autres caractères, hétérogènes dans leurs dimensions, à limites peu nettes, peu contrastées. A matière organique non directement décelable. Pas d'éléments figurés. Texture argilo-sableuse, à sable grossier quartzeux. Structure nette généralisée, polyédrique subanguleuse, fine et moyenne, agrégats les plus fins associés à micro-agrégats, inférieurs à 1 mm, arrondis, en paquets.

Fig3 : DISPOSITION DES 3 SÉQUENCES DE LA RÉGION DE GOYOUM



Surface des agrégats très irrégulière, granuleuse. Meuble (légère augmentation de cohésion par rapport au précédent). Forte diminution des porosités vacuolaires et vésiculaires. Agrégats à pores très nombreux, tubulaires, très fins et moyens, sans orientation dominante. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Grains de sable, déliés, blanchis, à la surface de quelques agrégats ou sur les parois des tubes les plus gros. Agrégats friables. Quelques "noyaux" plus fermes, à cassure plus franche, à pâte serrée, à porosité tubulaire plus faible, à arêtes plus anguleuses. Racines, fines et moyennes (avec diminution assez brutale de densité), pénétrant les agrégats. Chevelu. Activité forte. Termites. Coprolithes. Transition graduelle de teinte, consistance, régulière.

- de 15 à 50 cm : Frais. 5 YR 4/6, frais. Rouge-jaunâtre. Taches = nuances de couleur, 5 YR 4/4-4/5, brun-rougeâtre, sur faces des unités structurales très grossières, peu étendues, en traînées verticales, à limites peu nettes, peu contrastées. Quelques autres taches, 7,5 YR 4/4, liées aux parois des macro-tubules. Texture argilo-peu sableuse, à sable grossier, quartzeux. Aspect compact de l'horizon. Seuls vides interagrégats visibles séparent des agrégats polyédriques très grossiers (5 à 15 cm), à arêtes très anguleuses, à allongement vertical, dont les faces présentent les taches précédentes. Structure peu nette, polyédrique, moyenne, à agrégats allongés ou aplatis verticalement, à arêtes très anguleuses. Microrugosité de surface peu accusée laisse apparaître d'assez nombreuses facettes millimétriques planes ou en forme de cupules, lisses, voire légèrement luisantes, à arêtes anguleuses. Nette diminution du nombre des micropeds recouvrant les faces des agrégats. Présence de volumes plus friables, à structure plus fine, moins anguleuse, ou agrégats polyédriques mêlés à micropeds arrondis. Cohérent. Volume des vides très faible entre agrégats. Pores nombreux, très fins, tubulaires. Quelques pores moyens et vésicules. Quelques faces luisantes, peu étendues, peu marquées (cf. précédemment). Pas de revêtements visibles. Pas de sable grossier quartzeux à la surface des agrégats ni dans pores. Peu friable. Nombreux "noyaux" à pâte serrée, plus secs, à porosité faible, de taille variable. Nette diminution de densité des racines fines, pénétrant la masse de l'horizon. Chevelu. Activité faible. Localement termites. Transition diffuse de structure, consistance, régulière.

- de 50 à 150 cm : Augmentation nette de la friabilité, perceptible lors du prélèvement des monolithes. Frais, homogénéité de répartition de l'humidité. Pas ou peu de noyaux plus denses et plus secs. 5 YR 4/8, humide. Rouge-jaunâtre, homogénéité de teinte. Rares taches, 5 YR 4/4, brun-rougeâtre, liées au cheminement des racines. Disparition des taches précédentes. Texture argileuse. Absence des grandes unités structurales précédentes. Structure d'ensemble apparaît massive. Aucun vide entre agrégats visibles sur le profil. Des lignes de moindre résistance (réseau apparemment non continu) séparent des agrégats anguleux moyens à fins, aux facettes millimétriques planes et lisses, rares. L'ensemble friable à très friable se résoud en une structure très fine (inf. à 1 mm), assemblage de micropeds irréguliers, émoussés. Ces derniers sont nettement individualisés dans des volumes centimétriques très poreux. Les noyaux plus fermes sont peu nombreux et leur cassure souvent granuleuse. Horizon très meuble. Très friable. Tubes très fins, très nombreux. Très forte porosité entre micro-agrégats. Porosité sans orientation dominante. Pas de faces luisantes ni de revêtements. Racines fines verticales. Chevelu peu dense. Faible activité visible. Quelques termites. Au niveau de certains volumes à forte structure micropédique accumula-



tion de boulettes fauniques (une cavité biologique 1-2 cm emplies de boulettes juxtaposées sans cohésion). Transition diffuse, régulière.

- de 150 à 200 cm : Les caractéristiques d'ensemble de cet horizon rappellent celles de l'horizon précédent. Frais, 3,7 YR 4/6, humide. La structure a toujours un aspect massif en grand et se résout en micropeds par pression faible des mottes dans la main. L'horizon paraît légèrement moins argileux. Les cassures des mottes laissent apparaître une légère augmentation du nombre des facettes lisses, dépourvues de micropeds, suivant une direction verticale préférentielle. Quelques tubules moyens sont comblés d'une argile rouge 10 R 4/6. De rares noyaux fermes 5 YR 4/6 sont moins poreux. Transition diffuse, régulière.

- de 200 à 300 cm : Frais. 2,5 YR 4/6, humide. Rouge. Apparemment non organique. Quelques taches, 10YR 4/6, rouges, d'argile liée aux vides, ou sans relations visibles avec les autres caractères, en traînées obliques, à limites nettes, contrastées, aussi cohérentes. Texture argileuse. Aspect toujours massif de l'horizon. Peu de lignes de moindre résistance, compacté légèrement plus forte, éclats plus anguleux, à aspect de surface idem horizon précédent. Quelques facettes planes, lisses, 2-4 mm. Quartz apparaissant lavés. Friabilité des mottes localement sensiblement supérieure, avec résolution en micropeds, mais augmentation assez nette du nombre des noyaux plus fermes que la matrice emballante. Pas de variations visibles de la porosité tubulaire, toujours sans orientation dominante. Quelques graviers de quartz ou cuirasse, durs, irréguliers, à arêtes très émoussées. Quelques racines, fines. Transition diffuse, régulière.

- de 300 à 400 cm : Frais. 1,25 YR 4/6, humide. Apparemment non organique. Remplissage biologique, 5 YR 4/6, dans quelques tubules. Pas de taches. Texture argileuse. Quelques graviers arrondis, fragments de cuirasse. Léger accroissement de la compacité de l'horizon. Aspect massif mais débit vertical plus facile. Lignes de moindre résistance correspondantes présentent des facettes lisses, voire légèrement luisantes, plus nombreuses que précédemment. Facettes planes, 2-5 mm, fréquentes. Surface assez anguleuse des cassures verticales. Augmentation en nombre et en fermeté des noyaux argileux à pâte serrée, hétérogénéité dans leur taille. Diminution de la porosité tubulaire : pores nombreux, très fins, sans orientation dominante. Meuble. Friable. Pas de revêtements. Quartz luisants. Quelques racines, fines, dans la masse. Activité faible. Transition diffuse régulière.

- de 400 à 600 cm : Frais. 10 R 3/6, humide. Rouge foncé. Sans taches. Graviers arrondis = nodules ou fragments de cuirasse. Texture argilo-sableuse, à sables grossiers "lavés". Horizon plus dense que précédemment. Aspect massif et éclats très anguleux. Micro-arêtes anguleuses sur les faces des agrégats. Faces pratiquement lisses, dépourvues de micropeds. Localement structure peu nette, polyédrique, fine. Pas d'orientation préférentielle des éclats. Cohérent. Pores peu nombreux, tubulaires, très fins. Peu friable. Fermeté de l'horizon précédent. Quelques racines, fines. Activité nulle. Transition brutale.

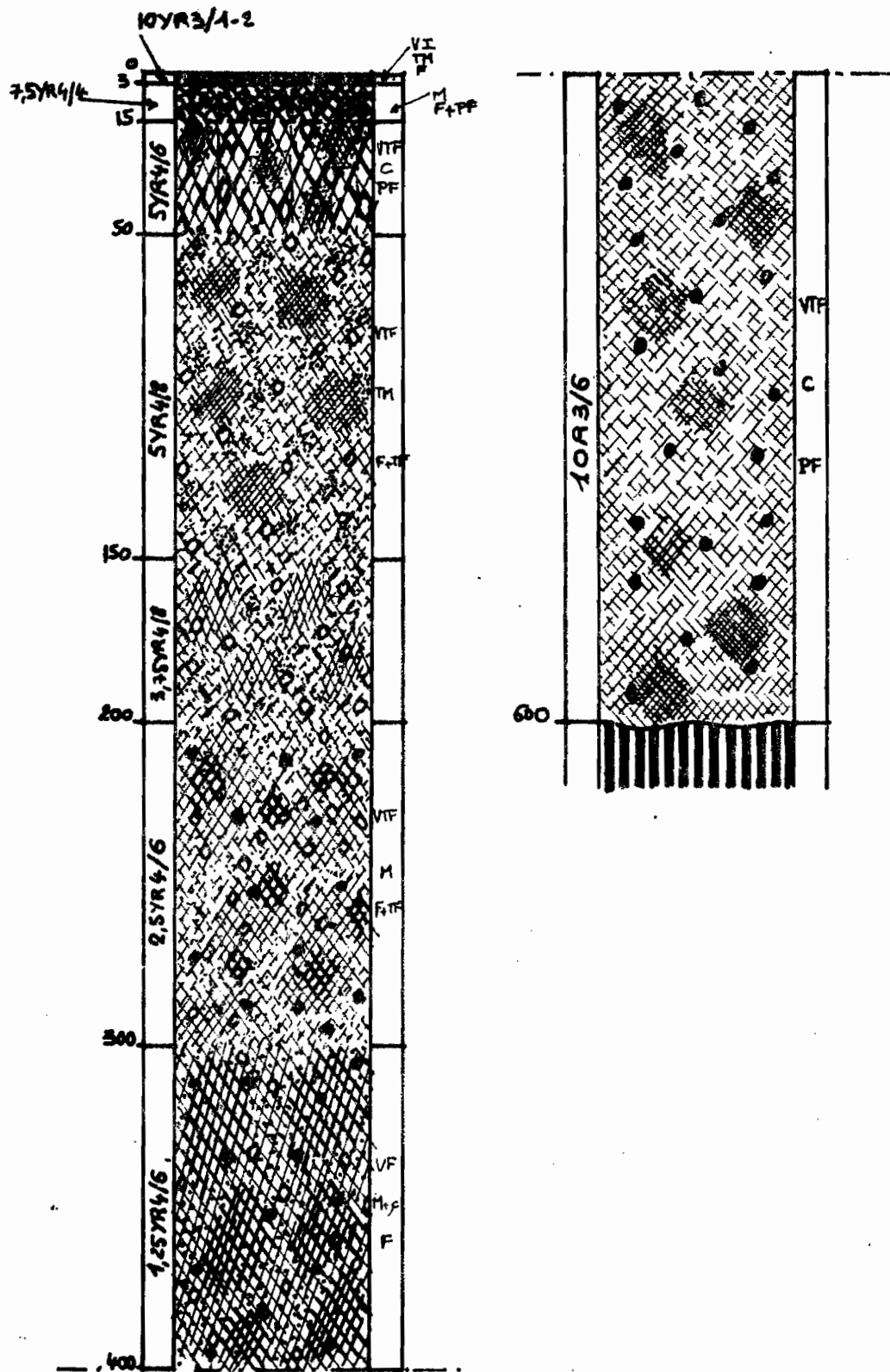
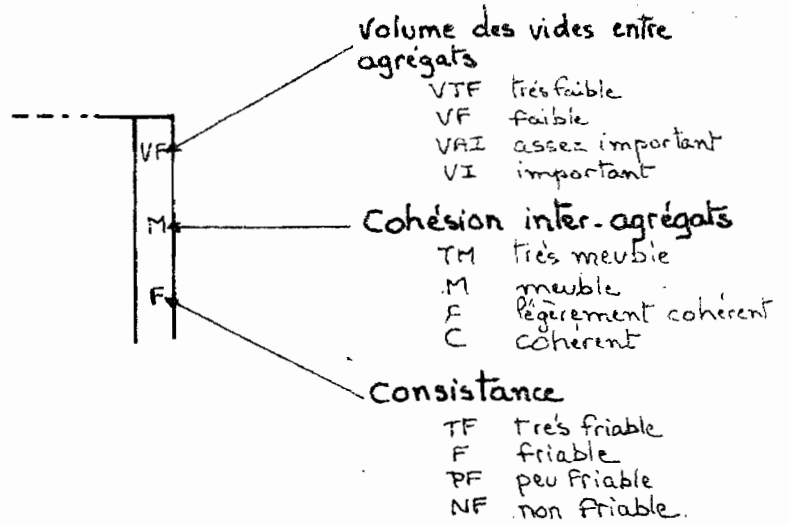
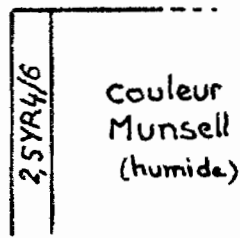


Fig 4 : MORPHOLOGIE DU PROFIL GOY 11  
(légende page suivante)

# LEGENDE DES DESSINS DE PROFILS



## Transitions

- très nettes et distinctes
- - - graduelles sans trait diffus.

## Taches

- brunes à jaunes
- rouges cohérentes
- Pénétration humique
- Nodules ferrugineux
- Cuirasse ferrugineuse

- Altérite
- Élément grossier à faciès lithologique conservé
- idem - à cortex ferrugineux

## STRUCTURES

- grumeleuse - polyédrique subanguleuse
- microgrenue (microstructure - micropeds)
- polyédrique
- peu nette → nette → très nette.
- fine très fine
- moyenne
- grossière
- cubique
- allongement sub-vertical des agrégats.
- polyédrique moyenne sous-structure polyédrique fine.
- polyédrique moyenne sur-structure polyédrique très grossière.
- volumes microgrenus diffus, à limites peu nettes, à limites nettes
- noyaux argileux durs
- quelques faces structurales très nettes, planes, lisses, voire luisantes

- de 600 cm à ? : Cuirasse dure vermiculée, lie de vin. Tubules emplis d'argile rouge, idem précédemment, ou blanchâtre. Structure lithologique (micaschiste) localement reconnaissable.

Analyse de ces données :

.....

- Ce profil est donc composé dans ses parties meubles sus-jacentes à la cuirasse, de quatre ensembles d'horizons faiblement contrastés (couleur) entre eux :

- de 0 à 15 cm : Des horizons humifères, brun-grisâtre à brun, à structures fragmentaires nettes et à forte porosité liée aux actions de l'édafaune.
- de 15 à 50-70 cm (limite diffuse) : Un horizon rouge-jaunâtre de consistance. Sa structure est peu nette, polyédrique. Les faces des agrégats plutôt lisses, les micropeds rares. Cohérent, cet horizon a une faible porosité (tubulaire ou inter-agrégats).
- de 50 à 200 cm : Des horizons brun-rougeâtre, très friables, dont la structure de base très fine (micropeds millimétriques) est responsable de la forte porosité inter-agrégats, de la faible cohésion et d'une relative légèreté.
- de 200 à 600 cm : Des horizons rouges de plus en plus denses et compacts vers la base, dans lesquels des "noyaux argileux" denses, peu poreux, croissent en nombre et volume, en même temps que les faces structurales deviennent plus lisses et anguleuses aux échelles millimétriques et centimétriques, et que les micropeds sont moins abondants et plus localisés. De 400 à 600 cm la structure prend un aspect massif, cohérent, à débit anguleux.

- Ces limites d'horizons ne correspondent pas nettement à celles d'ensembles granulométriques. En effet si on observe un "appauvrissement" relatif en argile entre 0 et 30 cm, et une texture plus sableuse à partir de 400 cm, aucune variation texturale nette n'est enregistrée de 30 à 400 cm. Trois des ensembles d'horizons précédents ayant leur maximum de développement entre ces profondeurs, la séquence d'horizons correspondante est donc surtout une séquence d'organisation structurale. (Nous pensons a priori que le bilan géochimique ne varie pas - ou peu - dans cette partie du solum).

- Malgré une végétation forestière dense et une fourniture abondante en débris végétaux (FX. HUMBEL, JP. MULLER, JM. RIEFFEL 1974), les horizons humifères sont relativement peu épais, assez faiblement teintés par une matière organique dont le rôle sur l'organisation des constituants semble limité aux 15 cm supérieurs. L'horizon de consistance paraît former écran à la pénétration des matières humiques, lesquelles forment des taches sur les faces verticales, peu nombreuses, des unités structurales. Nous sommes donc là en présence d'un appumite faible surmontant un structichron dyscrophe à forte structure responsable d'une pénétration hétérogène des matières humiques (JP. MULLER 1974). Les 3 centimètres supérieurs à structure grumeleuse localisée pourraient constituer l'embryon d'un appumite prononcé orthique, probablement dégradé par une action anthropique passée (exploitations anciennes de bordure de piste).
- Discret, le "jaunissement" de haut de profil (et de haut de pente à l'échelle de la séquence) est cependant perceptible sur 2 m. C'est précisément dans cette partie du profil qu'un appauvrissement "pondéral" est constaté et que se différencient les trois ensembles d'horizons supérieurs : humifère appauvri, de consistance, "micropédique" allégé. Nous verrons après examen des profils avals que tous ces caractères sont simultanément les plus accusés dans ce profil de haut de pente. D'où l'idée d'une possible corrélation entre les trois données macroscopiques évolutives : appauvrissement - jaunissement - nouvelle organisation structurale.
- L'appauvrissement se traduit par l'existence en surface d'un gradient d'argile pondéral. Nous avons déterminé précédemment (JP. MULLER 1972) que ce phénomène pouvait s'accompagner de diverses manifestations morphologiques et notamment des modifications de structure. Si l'appauvrissement est marqué dans les 30 premiers centimètres, il se manifeste surtout par une texture plus sableuse, les modifications de structure qui lui paraissent liées sont ici faibles en surface, mise à part l'association d'agrégats subanguleux et de quelques quartz déliés. Par contre le contraste structural entre horizons humifères appauvris et horizon de consistance est fort (cf. ci-dessus). Ce phénomène a d'ailleurs déjà été observé dans certains sols appauvris sur matériau argileux jaunes du Nord-Gabon (JP. MULLER 1970).

Les horizons microstructurés, très poreux, situés entre 50 et 200 cm, pourraient de même être le résultat d'un appauvrissement volumique en matière solide, relativement aux horizons plus compacts et peu poreux sous-jacents. Cet "appauvrissement" pouvant se faire avec départ réel de matière ou/et par simple réorganisation structurale, car on n'observe aucune diminution sensible du taux d'argile pondéral à ce niveau.

La séquence verticale des horizons serait ainsi la somme de deux séquences d'appauvrissement : "appauvrissement pondéral" à expression texturale, sus-jacent à un "appauvrissement volumique" d'expression structurale.

- Le passage des horizons microstructurés, poreux et brun-rougeâtre aux horizons rouges massifs et profonds se fait avec apparition progressive de "noyaux argileux" denses (pâte très serrée), peu poreux, polyédriques plus ou moins subanguleux, de taille hétérogène. Leur nombre et leur taille moyenne croissent vers le bas. Une similitude d'aspect est notée avec les éclats ou polyèdres des horizons compacts sous-jacents. Si leurs faces naturelles internes sont planes et lisses, leur surface externe est généralement tapissée de micropeds micrométriques apparemment émoussés. Au fur et à mesure que leur nombre augmente et qu'ils deviennent contigus en formant des volumes structurés alors plus anguleux, la matrice emballante, microstructurée, meuble, prend l'aspect de tubules de plus en plus nets, grossièrement sub-verticaux. Il est à noter d'ailleurs que les faces structurales sub-verticales des horizons compacts de la base sont les plus nettes. On constate donc des gradients inverses de concentration en micropeds et en "noyaux argileux". Les premiers forment la trame structurale de l'horizon microstructuré situé entre 70 et 150 cm. Les seconds semblent en continuité avec l'horizon compact situé entre 400 et 600 cm.

Ces gradients de concentration et les dispositions relatives des "noyaux" et des micropeds suggèrent une chaîne évolutive du type : Horizon compact → noyaux argileux + micropeds → micropeds, de la même façon qu'une cuirasse donne par démantèlement des fragments cuirassés décimétriques eux-mêmes transformés en "nodules" arrondis. En d'autres termes, les micropeds pourraient être le résultat de la dégradation d'horizons rouges compacts, dont les "noyaux argileux" seraient les reliques.

Notons que l'on trouve aussi des noyaux argileux fermes, dont l'aspect rappelle celui de l'horizon de consistance, à la base de l'horizon humifère et à la partie supérieure de l'horizon microstructuré. Il y aurait donc dégradation simultanée de la base et du sommet de l'horizon de consistance, de la même manière qu'une cuirasse sub-affleurante se dégrade à son sommet et par sa base.

Nous ne préjugeons pas ici de la nature des agents éventuels de dégradation qui pourraient être aussi bien biologiques (termites) que physico-chimiques (ou les deux, simultanément ou successivement).

- Notons un gradient croissant apparent de concentration et de taille des quartz, au-delà de la zone d'appauvrissement (dans laquelle il se fait une concentration secondaire et relative en quartz). Ce fait courant dans les sols ferrallitiques rouges profonds (ou "vieux" sols ferrallitiques ?), paraît significatif de l'altération des quartz en milieu ferrallitique, problème déjà soulevé par plusieurs auteurs.

- On constate l'apparition de graviers de quartz et d'éléments ferruginisés dès 200 cm. D'abord épars et de petite taille, ils deviennent plus nombreux (10-15 %) et plus gros (certains fragments de cuirasse) au contact de la cuirasse, la limite supérieure de cette dernière étant très tranchée. Il se pose ici, comme dans de très nombreux sols rouges, le problème du lien génétique entre accumulations ferrugineuses dures, continues (cuirasses) ou discontinues (nodules) et la matrice meuble emballante. La genèse possible des nodules par dégradation des cuirasses est un fait démontré, celui du matériau meuble rouge à partir de formations indurées est moins fréquemment envisagé. Il est pourtant troublant de constater que dans ces immenses horizons rouges on trouve presque toujours (ne serait-ce que sous forme de "plombs de chasse") des reliques indurées. Dans ce profil les premiers "nodules" (observés) apparaissent vers 2 m, précisément à la partie supérieure de l'ensemble des horizons rouges (2,5 YR), à 4 m de la limite supérieure de la cuirasse ! La possibilité d'une transformation des cuirasses en matériau argileux meuble rouge (avec plusieurs étapes possibles, y compris celle d'une déferruginisation préalable) et reliques fortement ferruginisées, ne doit pas a priori être rejetée (surtout quand il s'agit d'horizons rouges sur cuirasse dont la continuité avec l'altérite est problématique).



Une autre solution, étudiée par ailleurs (le cuirassement d'ensellement, G. BOCQUIER, JP. MULLER 1973) consisterait en la formation de cuirasse au sein des horizons rouges (donc postérieure à ces horizons). Elle ne peut convenir dans ce cas où la cuirasse, et apparemment les "nodules" sus-jacents, sont à structure conservée.

- Il est fréquent que les horizons rouges profonds soient plus massifs et cohérents que ceux des 2 ou 3 premiers mètres. Dans ce profil ce phénomène semble partiellement lié à une texture plus sableuse (entre 4 et 6 m) dont l'origine nous est inconnue. Nous avancerons provisoirement deux hypothèses :

. Hétérogénéité lithologique

. Appauvrissement en argile par écoulement latéral au-dessus de la cuirasse imperméable. Mais l'épaisseur de la zone concernée est telle que cette seule explication est insuffisante. En outre l'appauvrissement qui ameublirait les horizons de surface rendrait plus cohérents ces horizons profonds, ce qui paraît contradictoire.

- Nomenclature : En l'absence provisoire d'étude micromorphologique qui nous permettrait de saisir tous les traits morphologiques de ce profil, nous définirons la nomenclature des horizons de la façon suivante :

Horizons A	: de 0 à 3 cm	: A11 f (appumite faible orthique)
	de 3 à 15 cm	: A12f-(p) (appumite faible appauvri)
Horizon B1	: de 15 à 50 cm	: B1c (structichron dyscrophe de consistance)
Horizons B2	: de 50 à 150 cm	: B211 al (aliatique, allégé)
	de 150 à 200 cm	: B212 al -"-
	de 200 à 300 cm	: B221
	de 300 à 400 cm	: B222
Horizon B3	: de 400 à 600 cm	

Description du profil GOY 12 :

- de 0 à 2 cm : Horizon de surface moins épais qu'en GOY 11. Sec, 5 YR 3/3, humide, brun-rougeâtre foncé. Quelques débris organiques incorporés dans la masse et matière organique non directement décelable. Taches, 10 YR 2/1, noires, sans relations visibles avec les autres caractères, irrégulières, à limites nettes, contrastées. Texture argilo-sableuse, à sable grossier quartzueux. Structure grumeleuse, très nette, grossière et très grossière, 0,5-3 cm. Volume des vides très important entre agrégats. Meuble à bouillant, cohésion par racines. Peu friable. Nombreuses racines, fines, sub-horizontales. Chevelu très dense. Forte microporosité, tubes fins et larges, vacuoles, vésicules. Activité très forte, turricules, cavités, coprolithes. Transition nette, régulière.



- de 2 à 10 cm : Frais. 5 YR 3/4, humide, brun-rougeâtre foncé. A matière organique non directement décelable. Remplissages biologiques de tubes moyens et larges, 5 YR 3/3. Nuances de teinte dans la masse mais pas de taches. Texture argilo-sableuse, à sable grossier quartzeux. Structure nette, généralisée, polyédrique subanguleuse, fine et moyenne, assemblage net. Surfaces très contournées des agrégats, granuleuses. Micropeds peu nombreux. Meuble. Forte diminution de la porosité vacuolaire, tubes très nombreux, très fins et moyens, sans orientation dominante. Sables grossiers, quartzeux, déliés, blanchis, sur parois de tubes. Pas d'autres revêtements. Pas de faces luisantes. Friable. Quelques noyaux plus fermes. Nombreuses racines, fines, pénétrant les agrégats. Chevelu très dense. Activité forte, termites. Transition graduelle, de teinte et consistance, régulière.
- de 10 à 80 cm : Equivalent à 15-50 cm de GOY 11. 5 YR 3/4, brun-rougeâtre foncé, plus friable et à micropeds plus nombreux entre 10 et 40 cm, qu'entre 40 et 80 cm, 3,75 YR 4/7, assemblage de "noyaux" argileux fermes, à pâte serrée, peu poreux, plus nombreux et plus gros que dans profil précédent. Absence de clivages verticaux préférentiels ou faces verticales plus ou moins luisantes. Localement structure peu nette, polyédrique fine et moyenne, à agrégats fermes. Pas de revêtements. Pores nombreux, très fins. Fort développement apparent de la microporosité inf. à 0,1 mm.
- de 80 à 160 cm : Frais. 2,5 YR 4/6, rouge. Idem. 50-150 cm de GOY 11. Localement structure nette, polyédrique grossière et très grossière, assemblage peu net, agrégats très anguleux. Volume des vides très faible entre agrégats. Meuble à très meuble. Très friable. Transition très nette, irrégulière.
- de 160 à 310cm : Cuirasse massive, très dure, à tubules peu nombreux, 10 R 4/6 à 5 R 3/4, localement nodulaire: cimentation de nodules lie de vin dans gangue ocre-jaune.

Commentaires :

-- L'horizon de surface, bien que moins épais qu'en GOY 11, a plus nettement les caractéristiques structurales d'un appumite prononcé.

-- La séquence des horizons sus-jacents à la cuirasse est celle des 2 m supérieurs de GOY 11 :

- . de 0 à 10 cm : Horizons humifères
- . de 10 à 80 cm : Horizon de consistance
- . de 80 à 160 cm : Horizon à micropeds.

La présence d'une cuirasse peu profonde ne perturbe donc pas l'organisation générale du profil.

On doit cependant noter que l'horizon de consistance est plus développé dans ce profil, tant par son épaisseur que par ses caractéristiques.

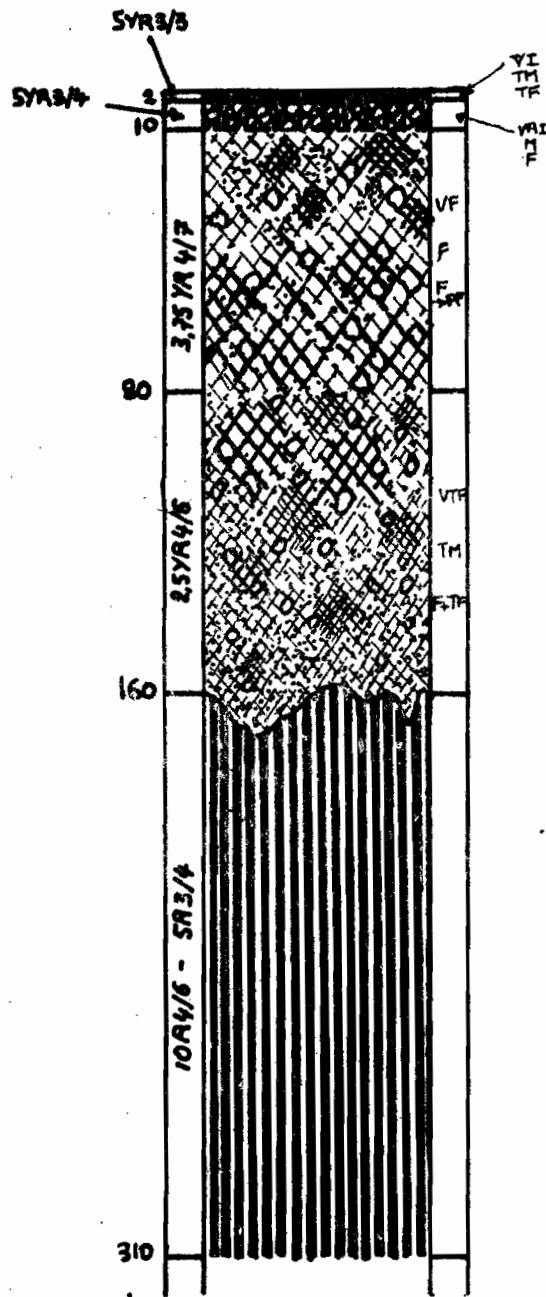


Fig 5 : MORPHOLOGIE DU PROFIL GOY 12

téristiques structurales (structure moins nette, plus cohérente). En outre le passage à l'horizon microstructuré sous-jacent est plus rapide.

Ce dernier inclut un nombre plus élevé de noyaux argileux que son homologue de GOY 11 (phénomène probablement lié au développement du B1c), mais il paraît par contre plus poreux et friable.

En résumé le contraste structural entre horizon de consistance et horizon aliatique sous-jacent est le plus accusé dans ce profil.

- Par contre l'appauvrissement en argile des horizons de surface est à peine perceptible et ne se manifeste pas dans la morphologie.

- En outre le jaunissement de la partie supérieure du profil est moins accusé puisque la teinte rouge est atteinte dès 80 cm au lieu de 200 cm en GOY 11. Il semble que l'on puisse lier à ce caractère l'apparition d'une structure polyédrique, localisée mais nette, laquelle n'existait pratiquement pas dans l'horizon aliatique correspondant de GOY 11 et n'apparaissait justement que dans les horizons rouges sous-jacents.

- Notons la plus grande porosité de l'horizon aliatique sus-jacent à la cuirasse, phénomène que l'on pourrait aussi bien attribuer à un écoulement latéral des solutions à ce niveau, qu'à une pédoturbation faunique plus importante liée à une réduction du volume utile (proximité de la cuirasse).

- Aucun élément ferruginisé n'annonce la cuirasse dans les horizons meubles sus-jacents.

### 3112 - Sols rouges de mi-pente.

#### Description du profil GOY 16 :

.....

- de 0 à 10 cm : Frais, 5 YR 4/4, humide, brun-rougeâtre. Taches, 5 YR 3/3, brun-rougeâtre foncé, dans la masse ou sur les faces des unités structurales, étendues, irrégulières, hétérogènes dans leurs dimensions, peu contrastées, à limites peu nettes, aussi cohérentes. A matière organique non directement décelable. Structure nette, assemblage peu net, polyédrique et polyédrique subanguleuse associées, 0,5-2 cm. Volume des vides assez important entre agrégats. Meuble. Agrégats à surface granuleuse. Pas de sables déliés. Pores très nombreux, très fins et moyens, tubulaires. Quelques faces luisantes. Friable, quelques agrégats légèrement plus fermes. Nombreuses racines, fines. Chevelu très dense. Forte activité termitique, galeries. Transition distincte, régulière.

- de 10 à 30 cm : Frais. 3,75 YR 4/6, humide. Nuances de couleur, mais pas de taches. Argileux. Structure peu nette à localement nette, polyédrique hétérogène, 0,5-3 cm (structure fine la plus nette). Sous-structure micropolyédrique. Quelques noyaux plus fermes. Des micropeds arrondis. Volume des vides faible entre agrégats (pas de vides visibles sur mottes). Meuble. Pas de facettes planes, surface microgramuleuses des agrégats. Friable, agrégats les plus gros sont plus fermes. Forte porosité tubulaire très fine d'ensemble, faible dans les noyaux fermes. Pas de faces luisantes. Nombreuses racines fines dans la masse. Chevelu dense. Transition diffuse, régulière.

- de 30 à 170 cm : Frais. 2,5 YR 4/6, humide, rouge. Sans taches. Apparemment non organique. Aspect massif sans vides visibles. En fait assemblage très poreux de micropeds sub-arrondis et micro-agrégats polyédriques, isolés ou jointifs, fermes. 10 % en haut à 20 % en bas. Des faces lisses sur front de coupe, de dimensions hétérogènes, 0,5-4 cm, irrégulièrement réparties, anguleuses, correspondant à noyaux argileux, fermes, denses, peu poreux, massifs ou divisés en polyèdres fins précédents, à faces internes très planes (volume dense semblant en fait former au moins 60 % de la masse de l'horizon). Hétérogénéité de densité et porosité : très friable et très poreux inter-agrégats (micropeds) à peu friable et ferme (noyaux argileux et polyèdres denses). Horizon compact à l'échelle décimétrique. Racines fines dans la masse. Chevelu. Transition diffuse, régulière.

- de 170 à 250 cm : Frais. 2,5 YR 4/6, humide, rouge. Horizon apparemment plus meuble que précédent avec augmentation du volume occupé par micropeds. Certains volumes fermes apparaissent très bien individualisés, très denses, plus cohérents, à cassures naturelles luisantes, à limites très nettes, un peu plus sombres (2,5 YR 3/6) que la matrice emballante, sans pores. Pas de structure polyédrique visible. Un nodule, 2 mm, dur, arrondi. Un noyau argileux très dense, arrondi, 10 R 4/4. Transition diffuse, régulière.

- de 250 à 350 cm : Frais. 2,5 YR 4/6, humide, rouge. Augmentation apparente de la consistance. Quelques nodules arrondis, 2-3 mm. Abondants noyaux fermes. Structure massive associée à une structure peu nette, polyédrique moyenne. Volume des vides très faible entre agrégats. Meuble à légèrement cohérent. Micropeds. Friable à peu friable (noyaux argileux). Forte porosité tubulaire très fine et inter-micropeds. Rares faces striées luisantes sur les faces des vides affectant les noyaux fermes. Edifices biologiques. Cavités emplies d'argile dense à ponctuations jaunâtres. Transition diffuse régulière.

- de 350 à 430 cm : Frais. 10 R 4/6, humide, rouge. Plus dense que précédent. Diminution mais meilleure individualisation des volumes occupés par micropeds : formes tubulaires sub-verticales notamment. Nodules "plombs de chasse", 1-2 mm. Assez nombreuses facettes planes sur cassures des mottes. Quelques noyaux argileux plus durs (non friables), certains subanguleux, rouges plus sombre (10 R 3/6), à pâte très dense. Friable à peu friable. Transition diffuse, régulière.

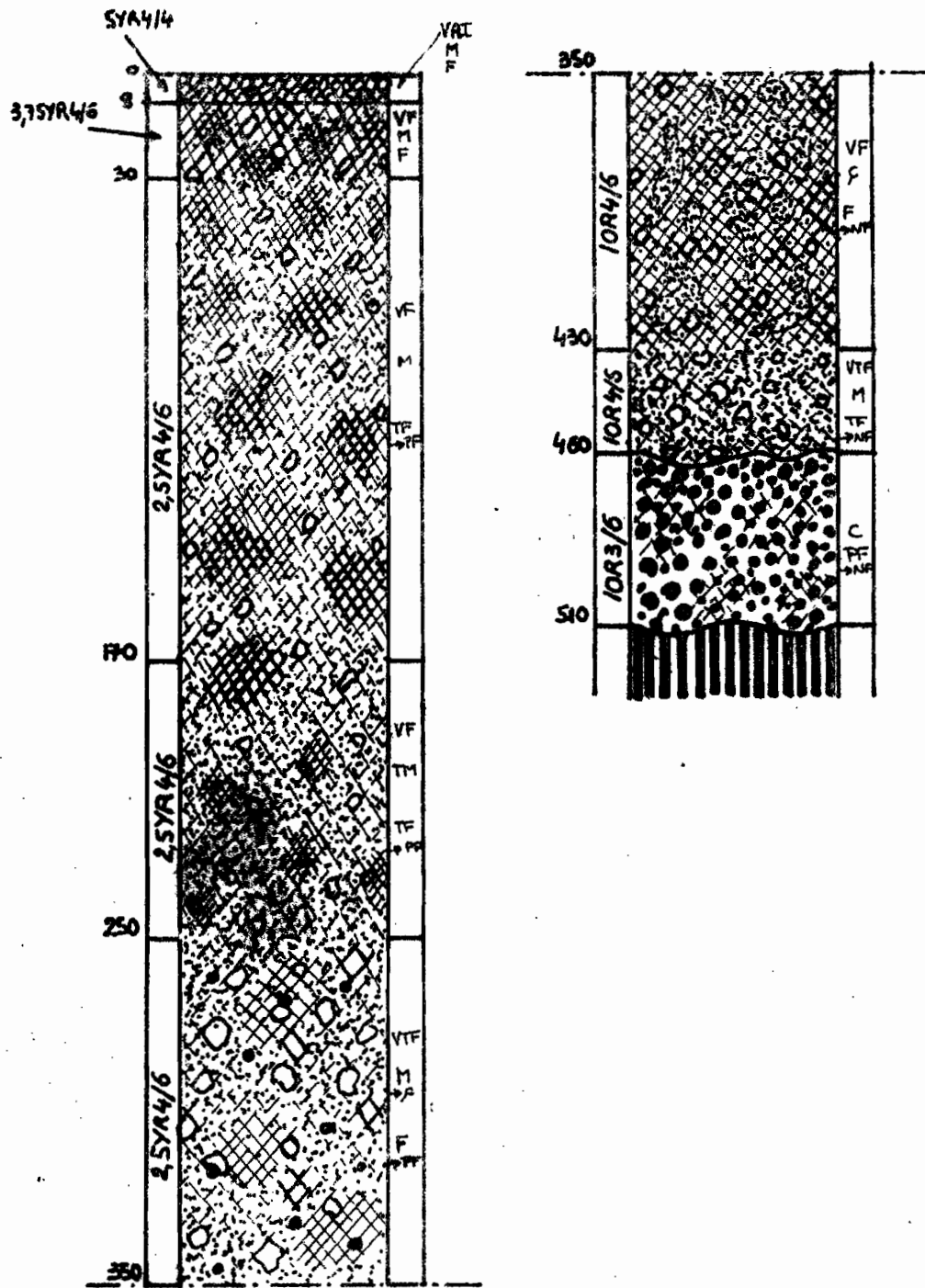


FIG 6: MORPHOLOGIE DU PROFIL GOY 16  
(légende cf Fig 5)

- de 430 à 460 cm : Frais. 10 R 4/6, humide, rouge. Diminution de cohésion et augmentation de la porosité intermicropeds. Micropeds plus abondants, mais accroissement du nombre de noyaux durs, bien individualisés, certains subarrondis, 2,5 YR 3/6, à texture apparemment plus sableuse(?). Quelques faces de glissement. Aspect massif. Friable (micropeds) à non friable (noyaux argileux). Transition distincte ondulée.

- de 460 à 510 cm : Horizon nodulaire. Nodules subarrondis, 0,5-2cm, très durs, rouge-sombre, 10 R 3/3, à structure apparemment conservée (micaschiste fortement ferruginisé), à inclusions subarrondies d'argile indurée rouge-vif (10 R 4/8) dense. Nodules cimentés par une argile très dense, 10 R 3/6. Logements des nodules luisants, parfois rouge plus vif, mais pas de revêtements argileux apparents, quelques taches jaunâtres millimétriques sur certains. Réseau de pédotubules rempli de micropeds 10 YR 4/6. Quartz grossiers luisants, anguleux. Structure massive. Forte cohésion. Peu à non friable. Transition distincte, ondulée.

- de 510 à ? : Cuirasse dure très ferruginisée, à structure conservée (micaschiste - cf. GOY 12).

Analyse de ces données :  
.....

- L'organisation générale du profil GOY 15 de mi-pente diffère notablement de celle du profil de haut de pente, par l'apparition rapide (pratiquement dès 10 cm) des caractéristiques des horizons B rouges profonds :

. La teinte rouge est nette dès 30 cm. Le jaunissement (très faible - 5 YR) se limite donc pratiquement aux horizons humifères.

. De 10 à 30 cm un horizon rougeâtre rappelle par sa structure l'horizon de consistance de GOY 11, mais il reste relativement meuble et assez friable. D'autre part des noyaux argileux fermes s'individualisent, annonçant ceux des horizons sous-jacents. Cet horizon est d'autre part peu épais.

. Sous ce pseudo-horizon de consistance il n'apparaît pas d'horizon aliatique (allégé) très développé : Les micropeds sont certes nombreux mais toujours mêlés à des volumes peu friables à structure polyédrique et des noyaux argileux denses abondants.

En outre l'appauvrissement en argile des horizons de surface est quasi inexistant.

En définitive la séquence d'organisation structurale, concomitant à un appauvrissement superficiel en argile et au jaunissement de sommet de profil, caractéristiques des sols de haut de pente, fait place ici à une séquence d'horizons rouges homogènes, faiblement contrastés entre eux.

- Le trait dominant de ces horizons B est la juxtaposition de micropeds millimétriques friables, de forme apparente arrondie, et de noyaux argileux denses et fermes, millimétriques à centimétriques, peu à non poreux. Des volumes structurés, polyédriques fins et très fins, dont l'aspect extérieur, la fermeté et la faible porosité tubulaire rappellent celles des noyaux argileux denses, semblent représenter des stades intermédiaires entre ces deux éléments structuraux. Certains de ces polyèdres sont isolés dans des volumes "aliquotiques". Tous ont des faces externes tapissées de micropeds. La taille de ces volumes à structure polyédrique ou des noyaux argileux est hétérogène (millimétrique à centimétrique), leurs arêtes peuvent être anguleuses ou émoussées. Leurs faces internes sont généralement lisses, voire luisantes. Leur nombre et leur dureté croît vers le bas, tandis que leur porosité diminue et leurs limites deviennent plus nettes. Les volumes occupés par les micropeds, alors plus réduits, prennent une forme tubulaire nette à direction subverticale préférentielle. En outre, et localement, certains de ces noyaux argileux parmi les plus fermes, sont plus sombres que la matrice structurée environnante.

Les variations verticales de ces caractères structuraux et leur répartition relative invitent à l'interprétation suivante : Les horizons B rouges de 10 à 510 cm seraient le résultat de la dégradation d'un ou plusieurs horizons B rouges originaux, massifs et compacts, à partir de vides d'abord subverticaux (cf. orientation des volumes de micropeds de la base) puis quelconque. Les volumes centimétriques résultant se fragmentent en noyaux argileux de taille très variable, les plus denses restant sous cette forme et ne s'altérant qu'à leur pourtour (noyaux subanguleux), les plus friables se divisant à leur tour en polyèdres de plus en plus fins, tout en devenant plus poreux. Le résultat est un assemblage de micropeds (polyédriques ?) plus ou moins émoussés, facilement triturés par la faune.

Ces transformations structurales s'accompagnent probablement de transformations géochimiques car les horizons supérieurs sont légèrement moins rouges que ceux de la base (2,5 YR contre 10 R), et les micropeds souvent eux-mêmes moins rouges que les noyaux argileux les plus denses. L'accroissement de porosité (ou diminution de densité) sont aussi significatives d'un appauvrissement volumique relatif : perte réelle de matière ou transformation "anisovolume" par une sorte de foisonnement (ou les deux).

- On constate donc la simultanéité du développement de la couleur rouge-sombre (2,5 YR 3/6) et de l'extension des horizons B épais, plus massifs, cohérents et consistants, à noyaux argileux abondants, contigus. Cette concomitance est fréquente, sinon générale, dans les sols ferrallitiques rouges profonds du Centre-Cameroun.

- Si à l'échelle du profil la compacité d'ensemble des horizons croît du haut en bas, en même temps qu'augmente le nombre des noyaux argileux, on doit cependant noter des hétérogénéités décimétriques locales. Le pseudo-horizon consistant superficiel en était une. Nous signalerons aussi :

. L'existence de poches de dimensions et formes hétérogènes, très meubles, presque exclusivement constituées d'un assemblage de micropeds.

. La présence au-dessus de l'horizon nodulaire compact (cf. infra) d'un horizon peu épais, plus microstructuré et poreux (430-460 cm) que les horizons sus-jacents, bien que les noyaux argileux soient dans l'ensemble plus denses et cohérents que dans ces derniers.

Ce dernier fait semble confirmer la généralisation d'un accroissement de porosité directement au-dessus d'un niveau peu poreux et cohérent (ici horizon nodulaire dense). Nous avancerons provisoirement deux hypothèses sur son origine : Ecoulement latéral des solutions, ou concentration de l'action de la faune gène dans sa pénétration verticale.

- Un horizon nodulaire très net, aux limites tranchées et à nodules abondants est directement sus-jacent à la cuirasse. Sa particularité est la forte cimentation des nodules dans un matériau argileux rouge vif, très dense. Il y a donc un brusque changement de compacité et de porosité, voire de nature de l'argile, à ce niveau.



L'origine de ce phénomène (qui n'est pas exceptionnel) n'est pas résolu : Transformation in situ, simultanée ou postérieure à la formation des nodules, ou accumulation illuviale (phénomène observé dans d'autres horizons nodulaires, JP. MULLER 1974). Mais on n'observe pas de revêtements argileux, même sur les parois des vides périphériques des nodules.

Les nodules, très durs, présentent localement des plages d'argile rouge vif fortement indurée, semblant emplir des golfes au sein d'une trame indurée sombre à structure conservée. Cette disposition complexe est observée dans la cuirasse continue sous-jacente. Il semble donc que ces nodules soient issus de la dégradation de la partie supérieure de cette cuirasse. L'horizon nodulaire serait donc, dans sa présentation actuelle, le résultat de la succession d'un cycle de dégradation (formation des nodules) et d'un cycle d'accumulation - induration (cimentation des nodules dans une argile indurée), l'horizon nodulaire, primitivement meuble, servant de structure d'accueil à des argiles denses et vivement colorées.

Notons enfin qu'à cet horizon compact semble correspondre un niveau d'hydromorphie naissante et discrète : Taches jaunâtres sur les parois des vides périphériques aux nodules.

- Les premiers nodules sont observés dès 2 m donc à 3 m au-dessus de la cuirasse. Cette observation renforce celle faite dans GOY 11 à propos de la présence de nodules dès l'apparition des premiers horizons rouges compacts.

- La présence de noyaux durs à texture apparemment plus sableuse vers 450 cm reste énigmatique. Il s'agit peut-être d'un artefact granulométrique : Texture apparente liée à une "granulation" ferrugineuse ?

### 312 - Le domaine aval :

En continuité avec le domaine des sols rouges de l'amont, il s'en différencie notamment par l'apparition de phénomènes d'hydromorphie, d'abord localisés à la base des profils puis quasi-généralisés au niveau de la rupture de pente, la disparition de tout niveau cuirassé, et le développement d'un jaunissement superficiel et profond des sols de bas de versant.

**3121** - Sol rouge à hydromorphie de profondeur de tiers inférieur de pente :

Description du profil GOY 17 :

.....

- de 0 à 10 cm : Frais. 5 YR 4/4-5, humide, brun-rougeâtre. Taches, étendues, 5 YR 4/3, brun-rougeâtres, sans relations visibles avec les autres caractères ou liées aux faces des unités structurales, irrégulières, en traînées verticales, hétérogènes dans leurs dimensions, à limites peu nettes, peu contrastées. A matière organique non directement décelable. Structure nette, généralisée, polyédrique subanguleuse fine et moyenne, 0,5-2 cm, à sous-structure microgrenue, faces des agrégats très contournées, fortement microgranuleuses. Volume des vides important entre agrégats. Très meuble. Pores très nombreux, très fins et fins, tubulaires et intersticiels. Très friable, quelques agrégats plus fermes, à peine moins poreux. Assez nombreux tubes moyens, vacuoles. Parois légèrement luisantes et un peu plus claires de certains gros pores. Peu de sables déliés blanchis. Matte racinaire dense dans la masse de l'horizon. Transition distincte, régulière.

- de 10 à 30 cm : Frais. 3,75 YR 4/6, humide. Homogénéité d'humectation. Quelques parois de fissures verticales, 3-6 cm, luisantes, 3,75 YR 4/4, mais pas de revêtements visibles. Revêtements argileux luisants, 5 YR 4/6, rares, sur parois de pores moyens à larges. Aucune autre tache. A matière organique non directement décelable. Aspect massif. Débit peu net, sans direction privilégiée, en polyèdres assez anguleux, 2-5 cm. Faces encore fortement microgranuleuses, rares facettes lisses. Volume des vides très faible entre agrégats, peu de vides visibles sur le front de coupe. Légère cohésion. Pores très nombreux, très fins et fins, tubulaires ou intermicropeds. Friable (très légère fermeté). Relative homogénéité de consistance avec rares noyaux argileux à peine plus fermes. Quelques volumes centimétriques, plus meubles, microstructurés, plus travaillés par la faune. Racines fines dans la masse. Chevelu. Transition graduelle de teinte, régulière.

- de 30 à 120cm : Frais. 2,5 YR 3,5/6 jusque 100 cm, 2,5 YR 4/6 ensuite, humide, rouge. Teinte homogène. Pas de taches. Pas de faces véritablement luisantes. Pas de revêtements, exceptés 5 YR 4/6 dans rares pores moyens. Apparemment non organique. Aspect plus dense et plus massif qu'horizon précédent. Pas de structure apparente. Débit anguleux localement plus facile. Aucun vide visible entre d'éventuels agrégats. Pores nombreux de moins de 0,2 mm, pores de plus de 0,5 mm peu nombreux (moins de 50 par dm<sup>2</sup>). Peu friable avec faibles variations de fermeté non traduit par variations des autres caractères. Racines fines dans la masse. Chevelu. Transition diffuse. Pas de quartz luisants apparents.

- de 120 à 210cm : Frais. 2,5 YR 4/6, humide, rouge. Quelques taches, blanchâtres, 10 YR 8/2, inférieures à 3mm, irrégulièrement réparties, concentrées dans les noyaux argileux fermes (ponctuations), à limites très nettes, très contrastées. Juxtaposition de volumes denses dominants, idem hori-

zon précédent, et volumes centimétriques à micropeds abondants, très friables, très poreux. Structure peu nette, localisée, polyédrique 2-5 cm. Volume des vides très faible entre ces agrégats (pas de vides visibles). Nombreux chenaux, 1-5 mm, emplis de micropeds. Noyaux argileux fermes (non friables), très denses, sans pores visibles, légèrement plus foncés, 2,5 YR 3/6, très bien individualisés, subanguleux moyens, 0,5-2 cm, atteignant plus rarement 5 cm, à limites très nettes notamment quand inclus dans volumes à structure microgrenue. Quelques facettes planes inférieures à 5 mm. Hétérogénéité de porosité : noyaux argileux durs sans pores visibles, volumes microgrenus à forte porosité tubulaire et inter-agrégats, tubes fins et moyens emplis de micropeds. Ensemble légèrement plus friable que le précédent. Quelques racines fines dans la masse. Transition diffuse, régulière.

- de 210 à 300 cm : Horizon sensiblement identique au précédent. Frais. 2,5 YR 4/6, rouge. Rares taches blanches idem précédemment. Nodules et fragments de cuirasse inférieurs à 10 cm, peu abondants, 5 %, entre 210 et 300 cm, arrondis ou irréguliers émoussés, très durs, patinés, à structure lithologique conservée (micaschiste), structure vermiculée lie de vin et tubules emplis d'argile jaune et rouge pour les plus gros, sans structure lithologique apparente et structure concentrique peu nette pour certains petits. Apparaît légèrement plus poreux à micropeds plus nombreux que précédemment dans tubes fins et moyens notamment. Structure peu nette à peine plus développée. Débit plus facile dans un sens vertical préférentiel apparent. Facettes planes et lisses à peine plus nombreuses. Moins de noyaux très fermes, en outre moins bien individualisés. Un de ces noyaux dur et rouge-sombre 10 R 3/3. Peu friable (volumes denses) à friable (volumes microstructurés). Transition diffuse régulière. Rares faces luisantes striées, inf. à 5 mm.

- de 300 à 430 cm : Frais. 2,5 YR 4/6, rouge, humide. Nombreuses taches en haut à très nombreuses en bas, 1,25YR-10 R 4/6, étendues, dans la masse des volumes fermes, irrégulières, hétérogènes dans leurs dimensions, à limites peu nettes, très peu contrastées, légèrement plus cohérentes. Rares ponctuations blanchâtres précédentes. Quelques autres taches, 5 YR 4/6, rouge jaunâtres, très diffuses, peu contrastées, dans la masse, à périphérie des taches rouges précédentes (?). Pas de nodules. Horizon dans son ensemble légèrement plus ferme que précédent avec diminution corrélative des volumes microstructurés. Limites plus franches entre les deux domaines massifs et microgrenus, ces derniers prenant alors plus nettement l'allure de pédotubules subverticaux de 2 à 5 mm. Structure peu nette, localisée, polyédrique très anguleuse, 3-6 cm. Volume des vides très faible entre agrégats. Cohérent. Assez nombreuses facettes planes, lisses voire luisantes, sur le front de coupe. Quelques volumes subarrondis, rouges plus sombre 10 R 3/6, non friables, sans pores visibles, mais disparition des noyaux très fermes précédents. Ensemble peu friable. Rares racines fines. Transition diffuse, régulière.

- de 430 à 530 cm : Frais. 10 R 4/6, humide, rouge. Nombreuses taches, 20 %, étendues, 5 YR 5/6, rouge jaunâtre dans la masse ou associées à des vides, irrégulières ou allongées, 5 mm, à limites peu nettes ou nettes, contrastées, aussi cohérentes. Pas de nodules. Massif à éclats peu anguleux

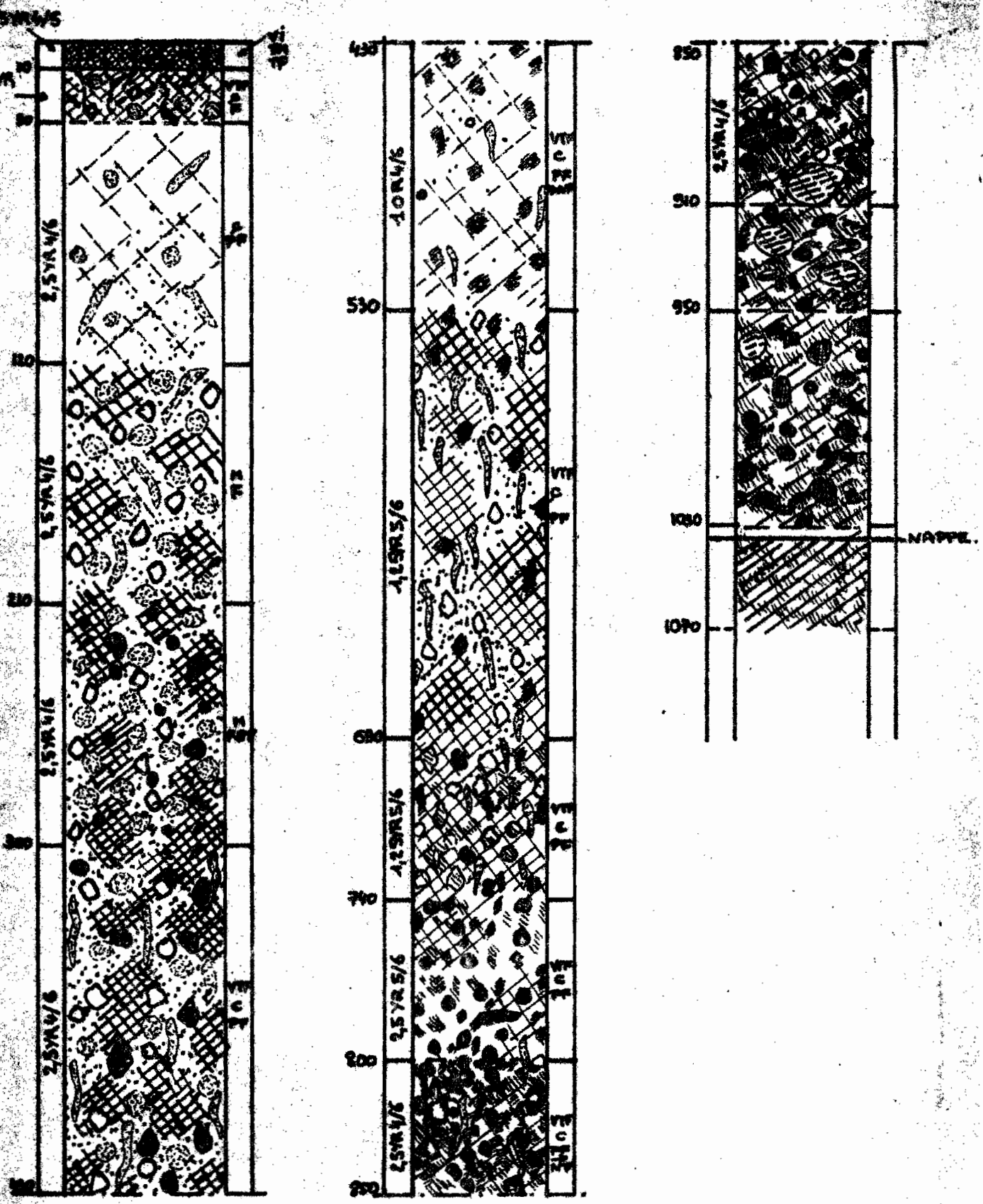


Fig. 7. MORPHOLOGIE DU PROFIL GOY 17  
 (légende: cf. Fig 5)

Pores peu nombreux, tubulaires, très fins et surtout fins 1 mm. Pédotubules, 2-5 mm, emplis de micropeds 2,5 YR 4/6. Pas de facettes planes visibles. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Peu à non friable. Transition diffuse, régulière.

- de 530 à 690 cm : Légèrement plus humide que précédent. 1,25YR5/6, humide. Taches précédentes, 5 YR 5/6, 7-10 %, irrégulièrement réparties. Structure localisée, peu nette à localement nette, polyédrique assez anguleuse, 1-4 cm, sans orientation préférentielle. Volume des vides très faible entre agrégats (pas de vides visibles sur front de coupe ou mottes). Micropeds plus abondants que précédemment, concentrés dans pédotubules aux limites nettes ou sur faces des agrégats. Meuble à cohérent. Rares facettes planes et lisses. Pores nombreux à très nombreux, irrégulièrement répartis (peu nombreux dans certains volumes plus fermes). Peu friable (légèrement plus friable que précédemment) avec variations idem horizon 210-300 cm. Transition diffuse, régulière.

- de 690 à 740 cm : Frais. 1,25 R 4/6, humide. Nombreuses taches, 15-20 % irrégulièrement réparties (de 5 à 25 % suivant plages), 10 YR 7/2, gris clair, irrégulières, à léger allongement subvertical, localement anastomosées, souvent filiformes, 2-10 mm, à limites variablement nettes, très contrastées, zébrées de microtubules emplis ou tapissés d'argile 2,5 YR 4/6, inf. à 1 mm, plutôt contrastées dans les volumes les plus cohérents ou associées à des nodules denses (surfaces - vides périphériques) ou bordant des tubules subverticaux de 1 mm. Autres taches 5 YR 4/6-5/6, rouge jaunâtres, diffuses, dans la masse, inf. à 1 cm, irrégulières, à limites peu nettes. "Nodules" subarrondis, mal individualisés sur front de coupe (forte adhésion de la matrice emballante), durs mais brisables à la main, (pâte dense sans pores visibles), 10 R 3/6 rouge sombre, homogènes, parfois bordés d'un liseret blanchâtre, 10 YR 7/1, inf. à 1 mm, certains à cassures brunâtres (argile brune sur parois), la plupart de moins de 2 cm de diamètre, présentant différents stades intermédiaires de dureté avec la matrice argileuse emballante. Aspect massif. Pas de vides visibles sur mottes. Structure peu nette, polyédrique, 0,5-3 cm, localisée, associée à une structure polyédrique 5-7 cm. Volume des vides très faible entre agrégats. Assez cohérent. Pores nombreux, très fins et fins, irrégulièrement répartis. Quelques pédotubules subverticaux emplis de micropeds. Pas de faces luisantes ni de revêtements visibles. Ensemble peu friable à hétérogénéité centimétrique de consistance : volumes les plus poreux et structurés friables, argile rouge dense peu friable (essentiel de l'horizon), "nodules" non friables. Transition diffuse, régulière.

- de 740 à 800 cm : Frais. Très hétérogène de teinte : 2,5-3,75 YR 4/6, humide (donc moins rouge que précédent) avec très nombreuses taches, 10 YR 7/2 idem précédentes, 50 %, généralement anastomosées, mêmes dimensions, formant réseau fin discontinu. Autres taches, rouge brunâtres, 5 YR 4/6, mieux individualisées que précédemment, généralement situées à la périphérie des précédentes. "Nodules" abondants, mieux individualisés sur front de coupe, plus arrondis, généralement inférieurs à 1 cm, durs, (brisés au marteau), même teinte ou rouge plus sombre, 7,5 R 3/2-3/4, notamment ceux dont la taille est entre 1 et 2 cm et dont la texture plus sableuse et l'aspect rappellent la structure lithologique du micaschiste (ferruginisé). Un caillou de



micaschiste fortement ferruginisé, allongé dans le sens de la schistosité, 5 x 13 cm. Aspect d'ensemble massif. Structure peu nette, 2-4 cm, localisée, ou débit polyédrique grossier sans doute favorisé par l'abondance de "nodules". Volume des vides très faible entre agrégats. Cohérent. Pores peu nombreux, fins (surtout) et très fins, sans orientation dominante. Pas de faces luisantes ni de revêtements apparents. Peu friable (plus compact que précédent). Transition diffuse, régulière.

- de 800 à 850 cm : Frais à humide. Très hétérogène de teinte et de cohésion - consistance. Argile blanchâtre friable occupant 60 % de l'horizon, 10 R 7/3, idem taches blanches précédentes, formant réseau presque continu à maille réduite, 0,2-1 cm, dense, incluant des micro-taches rouilles et traversée de micro-tubes à parois rouges 2,5 YR 4/6. Phase rouge 2,5 YR 4/6, formant taches de taille variable, 0,2-1 cm, plus ou moins anastomosées entre elles, assez régulièrement réparties irrégulières, à limites nettes ou diffuses (halo rouille) avec matrice précédente, denses, sans ou à très faible porosité visible, peu ou non friables. Taches rouilles 5 YR-7,5 YR 5/6, formant halos diffus autour des volumes rouges précédents ou incluses au sein de l'argile blanche, à limites peu nettes, inf. à 5 mm. Toutes ces taches sans orientation privilégiée. "Nodules" abondants, plus irréguliers, moins émoussés, de plus grande taille que les précédents, 1-4 cm, de dureté variable: durs brisés à la main ou au marteau, mal individualisés sur le front de coupe (forte adhésion de la matrice argileuse), présentant tous les stades intermédiaires de dureté avec les volumes rouges précédents, rouge dominant 10 R 4/6 pour les plus durs, à rouille dominant pour les moins cohérents, mais toujours hétérogénéité de teinte avec plages brun jaunâtres 5 YR-7,5 YR 4-5/6 plus ou moins abondantes essentiellement localisées à la périphérie, parfois formant liseret continu de 1-2 mm; cassures naturelles rouilles fréquentes. Quelques nodules rouge sombre 7,5 R 3/3 à structure lithologique apparemment conservée (micaschiste ferruginisé), certains incluant des micro-volumes blanchâtres. Localement argile rouge 2,5 YR 4/6 "bourrant" des pores tubulaires de 2-4 mm (limites nettes). Aspect massif (pas de vides visibles) mais débit aisé en polyèdres 1-4 cm. Faible porosité tubulaire. Pédotubules, 2-5 mm, emplis de micro-granules rouges, bruns ou blancs. Transition diffuse régulière.

- de 850 à 910 cm : Frais à humide. Hétérogénéité de teinte mais aspect plus diffus des limites des taches. Phases rouges 2,5 YR 4/6 et blanchâtre 10 YR 5/2 en réseau discontinu, à trame plus large que précédemment (1-3 cm), avec nombreuses inclusions de l'une dans l'autre. Phase blanchâtre traversée de microtubules emplis d'argile rouge. Taches brunes 5 YR 4/6 à rouilles 7,5 YR 4/6 moins nombreuses que précédemment. "Nodules" idem à plasma rouge sombre 10 R 3/3 et brun jaunâtre 7,5 YR 5/6, les plus gros à coeur jaune clair, durs (brisés au marteau), d'aspect microgranuleux sableux. Gravieres de quartz, 0,5-3 cm, peu abondants, irréguliers, anguleux ou légèrement émoussés, certains arrondis jaunâtres à aspect de galets. Une poche de 12 cm riche en quartz grossiers (texture sablo-argileuse) avec concentration de quartz et graviers à la périphérie, 7,5 YR 5/6 dominant avec taches centimétriques diffuses rouges 2,5 YR 4/6 et rares ponctuations blanchâtres, à porosité tubulaire et intersticielle emplies d'argile rouge. Autre poche d'altérite de micaschiste ferruginisée, schistosité reconnaissable, à micas blancs abondants, largement tachetée rouge 10 R 3/6 et jaune 10 YR 6/8, cohérente, à pores nombreux irré-

gulièrement répartis, très fins, tubulaires et intersticiels, sans remplissage ni revêtements. Aspect massif à débit polyédrique 1-3 cm assez aisé en humide, favorisé par la présence d'éléments grossiers. Volume des vides très faible entre agrégats (pas de vides visibles sur les monolithes). Pores peu nombreux très fins et fins, tubulaires, sans orientation dominante. Peu friable. Transition graduelle, régulière.

- de 910 à 950 cm : Frais à humide. Hétérogénéité de teinte. Taches anastomosées en réseau discontinu sans direction privilégiée, rouges 2,5 YR 4/6 (40 %) et blanchâtres 10 YR 7/2 (40 %). Transition de l'une à l'autre par taches brun jaunâtre à rouilles, 5 YR 4/6-7,5 YR 5/6, mais parfois limites nettes. Taches rouges 0,2-2 cm et légèrement cohérentes, taches blanchâtres inférieures à 1 cm et friables 5 %. Fragments de micaschiste ferruginisé dans la masse, 0,5-4 cm, brisables à la main, rouge sombre 10 R 3/2, à périphérie rouille 7,5 YR 5/6, à schistosité généralement reconnaissable, riches en paillettes de muscovite, irréguliers, assez anguleux, aplatis dans le sens de la schistosité, et sub-horizontaux. Absence de nodules précédents. Quelques poches à limites nettes d'altérite rouille 7,5 YR 5/6 et jaune 10 YR 6/8, friable, à taches rouges 10 R 3/6 peu ou non friables, à schistosité nette, massives, sablo-argileuses, incluant des volumes blancs 2,5 Y 8/0 argilo-limoneux. Débit net (en humide) en polyèdres de 2-4 cm. Volume des vides faible entre "agrégats". Pores peu nombreux, tubulaires très fins. Quelques pédotubules capillaires de microgranules rouges et blancs. Parois des pores revêtus d'argile brun rougeâtre. Sables grossiers quartzeux nets et quelques éléments noirs. Peu friable. Transition graduelle, régulière.

- de 950 à 1030 cm : Humide. Horizon altéritique argilo-limoneux, massif contenant d'abondantes paillettes de muscovite. Réseau irrégulier et discontinu de petites (1-2 cm) et larges (3-4 cm) taches, peu friables, jaunes 10 YR 6-8/8, à limites nettes, isolant des taches blanches 2,5 Y 8/0 les plus humides. Volumes indurés généralement brisés à la main, rouge sombre 2,5 YR 3/6, incluant des taches rouilles et à liseret périphérique plus sombre 10 R 3/4 localisé, à limites variablement nettes (nettes quand différenciation périphérique plus sombre et au contact des taches blanches), généralement inclus dans les taches jaunes précédentes, les seuls à schistosité vraiment reconnaissable, assez anguleux, allongés dans le sens de schistosité, sub-horizontaux. Autres taches, irrégulièrement réparties, formant localement un réseau discontinu, 5 mm, sans orientation préférentielle, à limites nettes, 10 R 4/6, très contrastées, plus cohérentes. Très faible porosité tubulaire. Revêtements jaunes et rouges sur les parois des tubes, y compris dans les poches blanchâtres. Transition graduelle interrompue.

- de 1030 à 1070 cm : Très humide. Identique à horizon précédent mais à schistosité plus marquée et à limites plus diffuses entre plages de différentes couleurs. Poche d'altérite friable, 5 YR 4/6 dominant, à passages continus entre plages de teintes. Taches noires 5 YR 2/1 de dimensions hétérogènes.

Analyse de ces données :

- Ce profil est donc composé de 5 ensembles d'horizons dont les principaux critères de différenciation sont :

- . L'accumulation de matière organique
- . Les composantes de la structure
- . Les variations de teinte dont celles liées à l'hydromorphie
- . Le passage à l'altérite en profondeur.

Il s'agit :

. de 0 à 30 cm : Horizons marqués par l'accumulation de matière organique et fortement pédoturbés par la faune : Imprégnation homogène entre 0 et 10 cm, pénétration verticale discontinue entre 10 et 30 cm.

. de 30 à 300 cm : Horizons rouges homogènes, différenciés au niveau de la structure.

. de 300 à 690 cm : Horizons rouges à taches rouge sombre et brun-rouge dont la taille, l'abondance et la répartition semblent conditionnées par l'arrangement structural.

. de 690 à 950 cm : Horizons hétérogènes de teinte, fortement influencés par l'hydromorphie, à taches blanches et rouilles de plus en plus nombreuses vers la base et à "nodules" rouge sombre. Horizons denses à structure polyédrique quasi généralisée. Des fragments d'altérite ferruginisée annoncent l'altération sous-jacente.

. de 950 à 1070cm (et plus) : Le réseau de taches précédentes affecte une altérite variablement nette à l'échelle centimétrique.

- Les horizons humifères et de pénétration humique sont donc très réduits et relativement peu contrastés (chroma assez élevé). Aucun signe macromorphologique d'appauvrissement n'est décelé. La structure à dominante polyédrique paraît significative du rôle assez réduit de la matière organique dans la différenciation structurale. La pédoturbation par la faune est par contre importante mais essentiellement localisée dans les 10 premiers centimètres.

L'horizon 10-30 cm de pénétration humique d'aspect massif, rappelle légèrement l'horizon de consistance des profils de haut de pente. Mais il n'en a ni l'épaisseur, ni la compacité. En outre il



est déjà pratiquement rouge (3,75 YR) et les traînées de matière humiques sont rares et très diffuses.

En résumé les horizons rouges remontent très haut dans le profil. L'emprise de la faune et de la matière organique sur la différenciation morphologique est corrélativement limitée dans son ampleur et son intensité. A l'exception des quelques centimètres supérieurs il y a donc opposition entre le développement des horizons marqués par la matière organique et celui des horizons rouges denses à proximité de la surface; ces derniers résistent donc aux actions biologiques superficielles.

- Comme dans le profil précédent, l'arrangement structural est un élément important de la différenciation des horizons rouges et notamment de ceux, apparemment homogènes, situés entre 30 et 300 cm. La structure est définie par l'association de 4 éléments :

. Des volumes denses, d'aspect massif, dont la structure est définie par un débit polyédrique de taille centimétrique variable. Ils sont peu friables. Leur faible porosité est tubulaire de petit diamètre.

. Des volumes à structure polyédrique assez nette, bien que les vides inter-agrégats soient très faibles (la plupart invisibles sur le front de coupe). Les faces structurales sont planes, souvent lisses, voire luisantes. La taille de ces polyèdres est généralement inférieure à celle des unités issues du débit précédent. Ces agrégats sont peu friables à friables. La porosité faible à très faible est très fine.

. Des micropeds (structure microgrenue, ou aliatique, ou à "pseudo-particules"). Ils sont de taille millimétrique, subanguleux, voire arrondis, friables. Leur assemblage lâche induit une forte porosité intersticielle.

. Des "noyaux argileux", distincts ou inclus dans les volumes polyédriques précédents, généralement centimétriques, à pâte dense, peu ou non friables, de forme polyédrique subanguleuse, aux limites variablement nettes (cf. ci-dessous). Nous notons dans ce profil leur relative abondance à certains niveaux et leur forte différenciation locale.

A l'homogénéité apparente à l'échelle du profil se superpose donc une hétérogénéité structurale souvent discrète des horizons. Celle-ci se traduit :

- Parfois par des nuances de teinte : Les micropeds peuvent apparaître plus clairs que la matrice à structure polyédrique voisine. Les noyaux argileux sont fréquemment, et légèrement, plus sombres que cette même matrice (mais rarement plus de une unité de valeur de différence).
- Par des variations de la porosité : assemblage très poreux de micropeds, moyenne à faible porosité tubulaire (très fine) des volumes à structure polyédrique; très faible porosité des noyaux argileux denses.
- Par des écarts de consistance : micropeds friables, polyèdres peu friables, noyaux argileux parfois non friables.

Le passage de l'un à l'autre de ces types structuraux est souvent peu net (limites et contraste). C'est le cas du passage entre :

- Noyaux argileux et phase argileuse sans structure apparente (horizon 30-120 cm).
- Phase argileuse sans structure apparente et phase structurée (120 à 690 cm).
- Phase à structure polyédrique et phase microgrenue (120 à 530 cm).

Un fort contraste et des limites nettes sont cependant mentionnés à propos :

- De noyaux argileux isolés dans des volumes à structure microgrenue (de 120 à 300 cm).
- De tubules grossièrement subverticaux emplis de micropeds et développés dans des horizons denses peu structurés (de 430 à 530 cm).

L'importance relative de ces différentes composantes de la structure varie notablement de haut en bas du profil. On distingue :

- Un niveau compact de 30 à 120 cm : Peu friable, il apparaît massif à débit polyédrique. Les volumes microstructurés sont rares et les noyaux argileux très mal individualisés.
- Un niveau "allégé" de 120 à 430 cm dans lequel sont associés les quatre types structuraux décrits ci-dessus. Les micropeds y sont les plus abondants, les noyaux argileux les mieux définis.

A l'homogénéité apparente à l'échelle du profil se superpose donc une hétérogénéité structurale souvent discrète des horizons. Celle-ci se traduit :

- . Parfois par des nuances de teinte : Les micropeds peuvent apparaître plus clairs que la matrice à structure polyédrique voisine. Les noyaux argileux sont fréquemment, et légèrement, plus sombres que cette même matrice (mais rarement plus de une unité de valeur de différence).
- . Par des variations de la porosité : assemblage très poreux de micropeds, moyenne à faible porosité tubulaire (très fine) des volumes à structure polyédrique; très faible porosité des noyaux argileux denses.
- . Par des écarts de consistance : micropeds friables, polyèdres peu friables, noyaux argileux parfois non friables.

Le passage de l'un à l'autre de ces types structuraux est souvent peu net (limites et contacts). C'est le cas du passage entre :

- . Noyaux argileux et phase argileuse sans structure apparente (horizon 30-120 cm).
- . Phase argileuse sans structure apparente et phase structurée (120 à 690 cm).
- . Phase à structure polyédrique et phase microgrenue (120 à 530 cm).

Un fort contraste et des limites nettes sont cependant mentionnés à propos :

- . De noyaux argileux isolés dans des volumes à structure microgrenue (de 120 à 300 cm).
- . De tubules grossièrement subverticaux emplis de micropeds et développés dans des horizons denses peu structurés (de 430 à 530 cm).

L'importance relative de ces différentes composantes de la structure varie notablement de haut en bas du profil. On distingue :

- . Un niveau compact de 30 à 120 cm : Peu friable, il apparaît massif à débit polyédrique. Les volumes microstructurés sont rares et les noyaux argileux très mal individualisés.
- . Un niveau "allégé" de 120 à 430 cm dans lequel sont associés les quatre types structuraux décrits ci-dessus. Les micropeds y sont les plus abondants, les noyaux argileux les mieux définis.

. Un niveau progressivement plus compact de 430 à 690 cm : Si l'on y trouve encore des noyaux argileux et des micropeds, les phases argileuses continues à débit ou à structure polyédrique nette dominant.

. A partir de 800 cm l'hydromorphie modifie fondamentalement la distribution des constituants et le degré d'humidité des profils, faussant ainsi le diagnostic des compacités comparées.

On retrouve donc, dans la partie du profil peu affectée par les processus d'hydromorphie, la superposition de trois niveaux de compacité. Mais leur contraste est nettement plus faible que dans les profils de haut de pente (phénomène identique à celui observé dans GOY 15) : en particulier, les horizons relativement allégés de 120 à 430 cm conservent une forte proportion d'argile dense à structure polyédrique variablement exprimée.

En outre on doit noter des hétérogénéités décimétriques voire métriques : Ainsi un niveau peu friable, d'aspect massif et peu poreux entre 430 et 530 cm introduit-il une discontinuité. En fait tout se passe comme si un grand niveau "allégé" était constitué d'une succession de niveaux plus réduits, continus ou discontinus, apparemment sub-horizontaux, alternativement (plus) denses et (plus) légers.

- Une tentative d'explication sur l'origine de ces niveaux peut être faite : Les modes de transition entre types structuraux suggèrent, comme dans le profil précédent, l'existence d'une solution de continuité entre volumes denses peu structurés et micropeds (ou certains d'entre eux : cf. plus loin) : des horizons B rouges, denses, originels, se fragmentent progressivement en éléments de plus en plus fins (structure massive débit polyédrique structure polyédrique micropeds). Cette "dégradation" se ferait avec perte et/ou redistribution de matière, les noyaux argileux étant alors des reliques du matériau originel massif : d'où une plus forte porosité des niveaux à "appauvrissement volumique relatif" et un fort contraste entre micropeds et "noyaux argileux" contigus.

Il ne semble pas cependant que les niveaux compacts situés entre 30 et 120 cm d'une part, et 430 et 530 cm d'autre part, soient les témoins stables de ces horizons B denses dans lesquels se

seraient différenciés les horizons "allégés". En effet, si l'on fait abstraction des phases meubles (micropeds) ou très denses (noyaux argileux), on constate un gradient croissant de structuration de la phase argileuse peu friable, de haut en bas du profil : La structure se généralise tout en s'affirmant, les faces planes et lisses des agrégats devenant de plus en plus nombreuses. Les horizons "compacts" de la partie supérieure présentent donc une organisation légèrement différente de celle des horizons de la base. Résultent-ils alors de la transformation de ces derniers ? cela signifierait deux évolutions divergentes d'un même matériau :

- . Dégradation par fragmentation avec formation d'horizons microstructurés.
- . Destruction de la structure avec formation d'horizons massifs.

OU : à une séquence verticale continue d'horizons rouges "massifs" présentant un gradient lui-même vertical de différenciation, se serait surimposé une séquence discontinue d'horizons "allégés" microstructurés (ou à "appauvrissement volumique") dont le déterminisme et la répartition dans le profil restent à préciser.

Notons enfin que la présence d'un horizon compact<sup>entre</sup>/30 et 120 cm concorde avec celle des horizons de consistance des profils précédents. Mais son origine, comme celle de l'horizon 430-530 cm n'est pas élucidée.

- On constate que les "noyaux argileux" les plus denses se situent dans les horizons dont la phase microstructurée est la plus abondante (120-300 cm). Nous formulons provisoirement l'hypothèse d'une concentration de matière (fer ?) dans ces "noyaux" (alors souvent plus sombres) corrélative à une perte de matière dans les volumes microstructurés (alors parfois plus clairs). Ce phénomène rappellerait celui des concentrations ferrugineuses nodulaires avec décoloration du plasma dans les sols à gley (cf. ci-dessous). Est-ce compatible avec un milieu bien drainé ?

- Aucune cuirasse continue n'est observée dans ce profil. Seuls quelques nodules ferrugineux très durs et des fragments de cuirasse vermiculée à structure lithologique conservée sont signalés entre 210 et 300 cm. Des analogies morphologiques nous font penser qu'il

s'agit de reliques de la cuirasse de haut de pente, intégralement démantelée à l'aval. En outre aucun élément ferruginisé n'a été trouvé dans les horizons rouges sus et sous-jacents à cet horizon de concentration relative. Mais ce fait, qui peut tout aussi bien signifier l'absence d'accumulation ferrugineuse dans ces horizons que sa totale disparition, n'est pas suffisant pour infirmer l'hypothèse précédente d'un lien génétique possible entre les horizons rouges et ces accumulations.

On note un gradient croissant de teinte rouge vers la base du profil, parallèle à celui de la structuration polyédrique signalé ci-dessus : Les horizons les plus rouges sont sous-jacents à l'horizon de concentration d'éléments grossiers (10 R puis 1,25 R entre 430 et 740 cm). La matrice meuble est tout au plus légèrement plus poreuse dans ce dernier horizon (micropeds plus abondants). L'organisation générale de la séquence verticale des horizons meubles et la présence d'un horizon de concentration d'éléments ferrugineux grossiers paraissent donc être deux caractéristiques indépendantes.

Il ne semble pas enfin que l'on puisse invoquer un démantèlement de la cuirasse par hydromorphie, cette dernière ne se manifestant réellement qu'à partir de 430 cm. La dégradation de la cuirasse en "nodules" et fragments, comme celle des horizons rouges "massifs" en micropeds, se ferait en milieu bien drainé.

- L'hydromorphie est un facteur important de différenciation de la base du profil. Elle semble se manifester dès 300 cm par quelques taches brun-jaunâtres associées à des volumes denses, mais elle n'est réellement évidente qu'au-delà de 430 cm.

Elle s'identifie d'abord par des taches isolées brun-jaune (5 YR) entre 430 et 690 cm essentiellement localisées dans les noyaux formes. A partir de 690 cm des taches blanches (10 YR 7/2) apparaissent, d'abord en position quelconque par rapport aux précédentes jusque 740 cm, puis associées : Les taches brun-jaunes situées préférentiellement à la périphérie des taches blanches formant transition avec la matrice restée rouge. La trame quasi continue formée par cette association envahit progressivement cette matrice entre 800 et 950 cm, laquelle ne se présente plus alors que sous forme de "taches" souvent isolées. Notons que cette matrice

argileuse est la plus rouge (10R) entre 430 et 530 cm . Au-delà elle prend une teinte plus claire (1,25 YR puis 2,5 YR) en même temps qu'augmente le nombre des taches blanches et brunes. Mais elle ne disparaît totalement que dans l'altérite continue. A sa réduction en volume semble correspondre en outre un accroissement de compacité. Les limites de ces plages variées de couleur deviennent diffuses à partir de 850 cm. Ces taches brunes et blanches ne se développent presque exclusivement que dans les volumes fermes, particulièrement dans les zones périphériques des "noyaux argileux" ou autour des microtubules traversant ces volumes. C'est ainsi que l'horizon 430 - 530 cm, plus compact que l'horizon 530-690 cm, est légèrement plus taché que ce dernier. En d'autres termes le développement des caractères d'hydromorphie et celui d'une structure microgrenue ("aliatique") s'excluent.

A partir de 690 cm, des "nodules" s'individualisent en même temps qu'apparaissent les taches blanches : Rouge sombre (10 R 3/6), peu poreux, ils ont une forme subarrondie, sont assez durs mais restent brisables à la main. Ils présentent divers stades de dureté intermédiaires avec la matrice argileuse emballante, laquelle adhère à leurs parois (pas ou peu de vides périphériques). Ces "nodules" sont généralement entourés d'un halo brun à jaune pâle. Ils sont très nets, atteignent leur taille et dureté maxima, et sont les plus abondants entre 740 et 800 cm. Au-delà ils deviennent plus irréguliers et plus hétérogènes de teinte avec des zones jaunes ou brunes et un liseret périphérique clair. Ces nodules disparaissent dès 910 cm. Le développement simultané des plages de décoloration de la matrice rouge (continuité) et des nodules rouge sombre, ainsi que leur mode de répartition semblent témoigner d'une nodulation en place avec diffusion du fer des zones claires et concentration en nodules. Cette nodulation ferrugineuse a son maximum au toit de la nappe (800-850 cm). Au-delà les nodules sont incomplètement formés (moins durs, à limites plus diffuses) et se dégraderaient saisonnièrement à l'occasion de la remontée de la nappe (taches et liseret jaunâtres). En profondeur le milieu est trop réducteur pour que ces nodules se forment (du moins ceux issus de la matrice argileuse rouge).

La nodulation ferrugineuse est la plus prononcée dans des fragments résiduels de micaschiste qui, ferruginisés, deviennent

très sombres (7,5 R 3/3), très durs (brisés au marteau), à différenciation périphérique parfois plus sombre. Ils sont les seuls à subsister au-delà de 910 cm. Les fragments de roche altérée, à texture plus sableuse et à porosité intergranulaire, constituent donc des structures d'accueil privilégiées pour les hydroxydes de fer.

Si certains volumes denses sont typiquement des noyaux argileux dont l'existence n'a semble-t-il rien à devoir à l'hydromorphie ou si la plupart des nodules observés entre 690 et 910 cm sont incontestablement liés à cette dernière, d'autres volumes fermes semblent avoir une origine mixte : Il en serait ainsi de certains volumes subarrondis, rouge sombre (10 R 3/6), non friables, de l'horizon 300-430 cm dans lequel les premières marques d'hydromorphie apparaissent. Une décoloration périphérique brune en serait l'indice.

- On observe donc dans ce profil une triple généalogie des volumes denses, variablement durs, millimétriques à centimétriques.

. Des nodules ferrugineux résiduels, reliques d'une ancienne cuirasse à structure conservée, qui se comporteraient actuellement comme des éléments grossiers inertes.

. Des "noyaux argileux", reliques apparents d'horizons B rouges massifs, dégradés en conditions de bon drainage.

. Des nodules actuels (ou récents), formés par redistribution et concentration ferrugineuse en conditions hydromorphes à partir d'horizons rouges originels.

- L'altération apparaît progressivement suivant trois niveaux successifs :

. Entre 740 et 850 cm : "nodules" ou fragments de micaschiste, de 1 à quelques centimètres, fortement ferruginisés, rouge sombre (7,5 R 3/3), très durs, arrondis ou émoussés et allongés dans le sens de la schistosité.

. Entre 850 et 950 cm : "nodules" identiques mais plus gros, à texture plus sableuse, à cœur jaune, accompagnés de graviers de quartz et de poches centimétriques d'altérite sablo-argileuse, généralement aplaties dans le sens de schistosité, friables, diversement tachées de rouge, brun ou jaunes, à forte porosité très fine,



très sombres (7,5 R 3/3), très durs (brisés au marteau), à différenciation périphérique parfois plus sombre. Il sont les seuls à subsister au-delà de 910 cm. Les fragments de roche altérée, à texture plus sableuse et à porosité intergranulaire, constituent donc des structures d'accueil privilégiées pour les hydroxydes de fer.

Si certains volumes denses sont typiquement des noyaux argileux dont l'existence n'a semble-t-il rien à devoir à l'hydromorphie, ou si la plupart des nodules observés entre 690 et 910 cm sont incontestablement liés à cette dernière, d'autres volumes fermes semblent avoir une origine mixte : Il en serait ainsi de certains volumes subarrondis, rouge sombre (10 R 3/6), non friables, de l'horizon 300-430cm dans lequel les premières marques d'hydromorphie apparaissent. Une décoloration périphérique brune en serait l'indice.

- On observe donc dans ce profil une triple généalogie des volumes denses, variablement durs, millimétriques à centimétriques.

. Des nodules ferrugineux résiduels, reliques d'une ancienne cuirasse à structure conservée, qui se comporteraient actuellement comme des éléments grossiers inertes.

. Des "noyaux argileux", reliques apparents d'horizons B rouges massifs, dégradés en conditions de bon drainage.

. Des nodules actuels (ou récents), formés par redistribution et concentration ferrugineuse en conditions hydromorphes à partir d'horizons rouges originels.

- L'altérite apparaît progressivement suivant trois niveaux successifs :

. Entre 740 et 850 cm : "nodules" ou fragments de micaschiste, de 1 à quelques centimètres, fortement ferruginisés, rouge sombre (7,5 R 3/3), très durs, arrondis ou émoussés et allongés dans le sens de la schistosité.

. Entre 850 et 950 cm : "Nodules" identiques mais plus gros, à texture plus sableuse, à coeur jaune, accompagnés de graviers de quartz et de poches centimétriques d'altérite sablo-argileuse, généralement aplaties dans le sens de schistosité, friables, diversement tachées de rouge, brun ou jaunes, à forte porosité très fins,

tubulaire et surtout intersticielle. Des intergrades entre poches tachées et éléments ferruginisés durs sont observés. La périphérie des poches est plutôt jaunâtre, celle des éléments ferruginisés rouges plus sombre que leur centre.

. A partir de 950 cm une altérite quasi continue dont la structure lithologique est la plus apparente au niveau d'éléments irréguliers sub-horizontaux, aplatis dans le sens de la schistosité, les moins altérés et les plus ferruginisés, à cortex périphérique souvent plus sombre.

Dans ces trois niveaux les limites entre altérite et argile rouge dense tachée sont relativement nettes. C'est notamment le cas entre 740 et 850 cm : Des reliques à structure lithologique conservée constituent une accumulation ferrugineuse discontinue au sein d'une organisation pédologique continue. Dans le troisième niveau une distribution discontinue de type pédologique se surimpose à une structure lithologique continue. Le niveau intermédiaire (850-950 cm) présente les deux types d'organisation. Seul le fer semble assurer une continuité entre les phases altéritique et pédologique différenciée, les limites entre phase argileuse rouge et altérite étant généralement nettes.

On constate un gradient décroissant vers le bas de la ferruginisation des éléments à structure lithologique conservée, les seuls à subsister au-delà de 910 cm (cf. supra).

Mais les éléments ferrugineux du troisième niveau présentent un cortex périphérique plus sombre et plus dur que leur centre. A la diffusion centripète des hydroxydes caractéristique de la nodulation ferrugineuse entre 740 et 910 cm, semble succéder une diffusion centrifuge à partir de 950 cm.

A l'intérieur des poches ou fragments d'altérite, des volumes blancs (2,5 Y 8/0), riches en micro-paillettes (de muscovite ou kaolinite ?) ont une texture plus argileuse (limono-argileuse) que l'altérite à taches jaunes ou brunes voisine. Ces poches sont les plus humides et leur porosité est réduite. Leur aspect microcristallin. Il est possible alors que l'altérite, milieu éluvial, serve de structure d'accueil pour une accumulation secondaire et discontinue de kaolinite de néoformation.

- On note la quasi disparition des volumes microstructurés dès 690 cm, profondeur à partir de laquelle les taches blanches et brunes deviennent abondantes. Par contre les microtubules grossièrement subverticaux traversant les volumes fermes et le système de taches les affectant, sont emplis de micropeds de couleur variée, rouges, bruns, jaunes et blancs, particulièrement nets entre 800 et 910cm, et incontestablement d'origine biologique. Ce fait confirme la double origine des micropeds : Transformation de l'arrangement plasmi- que avec fragmentation du matériau pédologique et remaniements par la faune. En dehors de quelques cas bien typés, seule l'étude micro- morphologique permettra de définir le rôle respectif de ces deux processus.

- Si dans les horizons rouges épais on n'observe pas de cutanes d'illuviation dans les vides, malgré une porosité intense liée à la microstructuration, des revêtements argileux brun rougeâtres sont nets sur les parois des pores tubulaires très fins situés entre 910 et 1030 cm : Une accumulation argileuse illuviale se produit donc au toit de la nappe de bas de pente.

Il semble donc que la nappe provoque à la fois une illuvia- tion d'argile et fer et une néoformation de kaolinite par ralentis- sement de la circulation des solutions dans la frange capillaire.

3122 - Sol rouge à hydromorphie de profondeur très marquée.

Description du profil GOY 18 :

.....

- de 0 à 10 cm : Frais. 5 YR 4/4 humide, brun rougeâtre. Très nombreuses taches, 5 YR 3/3-7,5 YR 3/2, étendues, irrégulières, hétérogènes dans leurs dimensions, dans la masse ou associées aux macrotubules (les plus sombres), aussi à moins cohérentes, peu contrastées à contrastées, à limites peu nettes, plus homogènement sombres sur les 2-3 premiers centimètres. Matière organique non directement décelable. Texture sablo-argileuse sur 2 cm puis argilo-sableuse, à sable grossier quartzeux. Structure nette, généralisée, polyédrique et polyédrique subanguleuse, 2-4 cm, associée à une structure microgrenue trop poreuse, notamment sur les trois premiers centimètres. Volume des vides assez important entre agrégats. Meuble. Friable. Partie centrale de certains agrégats plus ferme, moins poreuse. Très forte porosité inter-microagrégats et tubulaire très fine à large. Forte pédoturbation biologique. Pas de faces luisantes ni de revêtements. Abondantes racines fines et moyennes. Chevelu dense. Transition distincte régulière.

- de 10 à 30 cm : Frais. 5 YR 4/6-4/8 humide, rouge jaunâtre. Nombreuses taches, diffuses dans la masse, 5 YR 4/4 ou luisantes associées à quelques grandes faces structurales verticales, aussi cohérentes, à limites peu nettes, très peu contrastées. Quelques autres taches plus sombres, contrastées, aux limites nettes, associées à des pédotubules. Texture argileuse. Structure nette, voire localement très nette, polyédrique 5-10 cm, à allongement vertical préférentiel (sub-prismatique). Sous-structure polyédrique, 2-4 cm, associée à une structure microgrenue d'origine apparemment essentiellement biologique. Faces des agrégats très microgranuleuses. Très rares facettes planes et lisses généralement inférieures au centimètre. Quelques grandes faces verticales lisses. Meuble. Volume des vides assez important entre agrégats de grande taille, faible entre petits agrégats. Très poreux : Forte porosité d'assemblage entre micropeds, très nombreux pores tubulaires très fins à moyens. Quelques faces luisantes (cf. ci-dessus). Friable à très friable (volumes à structure microgrenue développée). Racines fines. Chevelu. Transition diffuse, régulière.

- de 30 à 70 cm : Frais. 3,75 YR 4/8 humide. Teinte homogène. Rares taches peu étendues, 5 YR 4/4, brun rougeâtres, irrégulières ou allongées, contrastées, moins cohérentes, à limites nettes, liées aux pédotubules, ou diffuses, 5 YR 4/8; rouge jaunâtres, liées à des volumes microgranuleux, aux limites peu nettes, essentiellement localisées à la partie supérieure de l'horizon. Apparemment non organique. Texture argileuse. Structure nette, assemblage compact (peu de faces structurales nettes), 2-4 cm. A sous-structure polyédrique, 4-8 cm, à allongement vertical préférentiel. Arêtes anguleuses. Faces moins microgranuleuses, facettes planes et lisses plus nombreuses que précédemment. Volume des vides faible entre agrégats. Encore abondants microgranules formant volumes centimétriques aux limites diffuses, à forme localement grossièrement tubulaire, plus abondants à la périphérie des agrégats polyédriques. Pores tubulaires très nombreux, fins et très fins. Friable à très friable. Centre plus ferme des agrégats polyédriques les mieux individualisés; lesquels sont à porosité plus faible et à faces structurales très nettes quand jointifs (planes et lisses). Donc gradient de porosité croissant du centre à la périphérie des agrégats. Certains de ces volumes plus denses formant noyaux fermes, anguleux (certaines de leurs faces) à émoussés, aux limites nettes, isolés dans volume fortement microgranuleux, en assemblage lâche et très poreux. Certains de ces noyaux plus rouge (nuance non chiffrable), généralement les plus fermes. Quelques faces luisantes, notamment faces structurales internes aux noyaux argileux. Quelques racines fines. Transition diffuse, régulière.

- de 75 à 150 cm : Frais. 3,75 YR 4/8, humide, très rares taches, idem précédemment. Apparemment non organique. Texture argileuse. Structure plus hétérogène de taille, 2-7 cm, la plus nette et la plus fine dans les zones microgranuleuses meubles, à forte porosité d'assemblage; peu nette, anguleuse, à léger allongement subvertical dans des zones plus fermes, à microgranules moins abondants. Dans ces dernières, les arêtes des agrégats polyédriques sont plus anguleuses, les faces structurales moins granuleuses, les facettes lisses voire luisantes plus nombreuses, les agrégats moins poreux (porosité tubulaire très fine et fine), l'opposition entre agrégats denses et volumes microgranuleux forte, avec parfois limites nettes entre deux domaines. Certains





de ces agrégats sont totalement ou partiellement (coeur) plus rouges (2,5 YR 4/8), relativement peu poreux, peu friables; mais ces caractères encore peu nets et isolés. Très localement pâlisement diffus et millimétrique de la masse de ces volumes plus rouges ou micro-taches rouge plus sombre (10 R) au centre des agrégats. (Donc accroissement de la fermeté d'ensemble et plus nette opposition entre volumes microgranuleux friables et poreux, et volumes polyédriques anguleux fermes et peu poreux). Rares "plombs de chasse" millimétriques. Transition diffuse, régulière.

- de 150 à 210 cm : Frais. Teinte d'ensemble intermédiaire entre 2,5 YR 4/8 et 3,75 YR 4/8. En fait accroissement de la phase dense 2,5 YR 4/8, 60 %, aux dépens de la phase microgrenue 3,75 YR 4/8. Cette dernière paraît plus fine et apparemment plus anguleuse. Elle forme des volumes plus ou moins anastomosés aux limites variablement nettes, de moins de 1 cm de large, à forme localement pédotubulaire. Limites alors plus nettes de ces volumes, assemblage très lâche des microgranules, les plus grossiers de l'horizon (mais inf. à 1 mm). Phase rouge ferme (peu friable) et peu poreuse quasi continue. Forme localement des volumes de moins de 1 cm, aux limites nettes, partiellement ou totalement isolés dans la phase microgranuleuse. Structure peu nette à nette, en assemblage compact, 3-5 cm. Arêtes anguleuses, abondantes facettes lissées voire luisantes (20 %). Des faces microgranuleuses au contact de la phase correspondante. Sous-structure localisée polyédrique 0,5-2 cm. Quelques grandes faces structurales nettes entre agrégats à allongement subvertical, 5-10 cm. Volume des vides très faible entre agrégats. Cohérent. Des agrégats très denses (non friables), légèrement plus rouges, 1,25 YR 4/8, non poreux, à sous-structure micropolyédrique très anguleuse, à microfacettes luisantes, très lisses (moins de 5 %). Léger pâlisement très localisé de certains volumes denses (moins de 1 %). Ensemble cohérent. Pores nombreux, très fins et fins, tubulaires. Très forte porosité d'assemblage de la phase microgrenue. Pores peu nombreux dans les agrégats les plus fermes. Rares nodules "plombs de chasse". Quelques racines fines dans la masse. Transition diffuse régulière.

- de 210 à 310 cm : Horizon dense dans son ensemble. Opposition plus nette entre phase dense et phase microgranuleuse. Phase dense, 70 %, non friable, très peu poreuse (tubes très fins rouge 2,5 YR 4/6, à plages diffuses légèrement plus rouges 1,25 YR 4/6, ou plus pâles 3,75 YR 4/6. Ces dernières rares, micrométriques, apparemment liées à des microvides ou des faces structurales. Structure nette à assemblage compact, polyédrique 2-5 cm. Faces structurales nettes à micro-facettes très anguleuses, très lisses voire luisantes. Faces verticales le mieux individualisées. Cohérent. Volume des vides très faible entre agrégats. Peu à non friable. Pores nombreux à peu nombreux, tubulaires très fins et fins, les moins abondants dans zones les plus rouges et denses. Diminution de la porosité d'ensemble par rapport à phase équivalente de l'horizon précédent. (Revêtements au niveau des microplages plus claires ?). Sables quartzeux luisants, non ferruginisés, apparemment non altérés. Phase microgranuleuse, 3,75 YR 4/8 - 2,5 YR 4/8, très poreuse, intersticielle et tubulaire, en assemblage très lâche, friable. Quelques "noyaux argileux" isolés dans cette phase : Volumes plus rouges 1,25 YR 4/6, très fermes, non poreux, aux limites nettes, subanguleux, inf. à 1 cm, affectés de microplages plus claires. Transition entre ces deux phases, soient nettes, soient plus diffuses par matrice 2,5 YR 4/8, friable à peu friable,

à fine porosité tubulaire, peu microgranuleuse. Rares nodules "plombs de chasse" (3 de 1 cm, arrondis, très durs). Taches 10 R 8/3 formant microponctuations concentrées dans volumes 5-15 cm, à limites très nettes, très contrastées, moins cohérentes, probablement liées à l'activité termitique. Quelques racines fines. Transition diffuse, régulière.

- de 310 à 365 cm : Le contraste s'accroît entre phase dense peu poreuse et phase microgranuleuse friable et poreuse.

• La première forme des volumes hétérogènes de taille, anastomosés ou isolés, pénétrés par la phase microgranuleuse, à allongement apparent subvertical préférentiel. Les contours de ces volumes fermes sont généralement anguleux. Cette phase très peu poreuse (pores peu nombreux, tubulaires très fins et fins) et denses (peu à non friable), est hétérogène de teinte : Rouge vif 10 R 4/6 et brun jaunâtre 7,5 YR 5/6-5/8 à 10 YR 6/6. Les plages rouges les plus denses forment la masse centrale de ces volumes fermes, les plages jaunes étant préférentiellement situées à la périphérie, ou associées à des microtubules et des faces structurales. Le contraste entre plages de teinte est fort, les limites variablement nettes. Ces plages occupent respectivement 20 et 5 % environ. La structure d'ensemble est plus nette que précédemment, hétérogène de taille, polyédrique 2-8cm, à sous-structure polyédrique fine et moyenne mais assemblage toujours compact et volume des vides faible entre agrégats. Agrégats très anguleux, faces structurales planes et luisantes, localement très nettes. Cohérent, mais la cohésion diminue localement. Meuble dans volumes à structure microgrenue. Allongement subvertical apparent des agrégats.

• La seconde, 2,5 YR 4/8-4/6 - 3,75 YR 4/8 s'est développée et occupe environ 70 % de l'horizon. Elle est constituée de volumes très microgranuleux 3,75-2,5 YR 4/8, à assemblage lâche et très friables, et d'une matrice 2,5 YR 4/8-4/6 légèrement plus dense (friable à peu friable), moins microgranuleuse, à forte porosité tubulaire très fine et fine. Les limites entre ces deux phases de différenciation sont peu nettes, la seconde se situant généralement en position intermédiaire entre les phases ferme précédente et microgranuleuse. Une plus forte porosité de l'horizon est liée au développement de la phase microgrenue. Quelques nodules "plombs de chasse". Transition diffuse, régulière.

- de 365 à 430 cm : Les phases fermes à structure polyédrique et friable microgranuleuse occupent environ chacune 50 % de l'horizon. Le contraste entre ces deux phases est encore plus marqué que précédemment. Régression de la phase friable à peu friable, diminution du pourcentage de matrice faiblement microstructurée au bénéfice du volume occupé par les microgranules en assemblage lâche. L'une ne formant plus que des îlots discontinus au contact et en continuité avec la phase ferme, l'autre 2,5 YR 4/6, occupant au moins 40 % de l'horizon et définissant un réseau continu d'allure tubulaire, de 0,5-2 cm de large, aux limites généralement très nettes avec la phase dense. Les microgranules y sont en assemblage très lâche. La phase dense forme des plages de dimensions hétérogènes sur le front de coupe, pénétrées par la phase microgranuleuse, isolées ou plus fréquemment anastomosées en un réseau discontinu à orientation discrètement subverticale. Ses contours deviennent plus émoussés au contact de la phase microstructurée. Certains de ces éléments isolés dans cette phase sont franchement ar-

rondis. Inclus dans cette phase ferme, des "noyaux durs", non poreux, 10 R 3,5/6, difficilement brisés à la main, en continuité avec la phase ferme, ou localement et partiellement à limites nettes et contours subanguleux. Les taches jaunes, 10 YR 6/6, micrométriques, sont plus abondantes et plus contrastées que précédemment. Irrégulières, filiformes ou arrondies, elles sont associées à des vides, reliées à des faces structurales, et se situent préférentiellement à la périphérie des volumes fermes, inf. à 5 mm. Leur répartition est très irrégulière. Cette phase ferme est très peu poreuse (quelques tubes fins), peu à non friable. La structure d'ensemble est nette, polyédrique hétérogène de taille 4-8 cm, à assemblage compact et à allongement vertical préférentiel. Volume des vides très faible entre agrégats. Cohérent. Sous-structure polyédrique 2-4 cm, localement nette et microstructure associée. Forte hétérogénéité de porosité. Transition diffuse, régulière.

- de 430 à 460 cm : Nette augmentation de la phase ferme aux dépens de la phase microstructurée (80 %/20 %)

. Phase microstructurée ne forme plus qu'un réseau peu dense de pédotubules subverticaux, inf. à 0,5 cm de diam., plus ou moins anastomosés, s'élargissant au niveau de poches centimétriques, microstructurées. Constituée de micropeds rouges 2,5 YR 4/6-4/8, auxquels sont mêlés quelques microgranules 7,5 YR 5/8. Limites généralement nettes à très nettes avec phase ferme. Localement tubules moyens centraux plus ou moins évidés.

. Phase ferme continue, 10 YR 4/6-4/8, dense, non friable. En position centrale, noyaux 10 R 3,5/6 plus durs, en continuité avec matrice (au moins partiellement), aux limites plus ou moins subanguleuses, partiellement cernés par taches jaunes. Ces dernières augmentent en nombre (25 %) et en taille (jusque 5 mm). Irrégulières, ou plus généralement allongées, elles forment une gaine blanche autour des volumes microstructurés précédents, ou, plus petites, sont associées aux microtubes et faces structurales (voile blanchâtre). Leur teinte varie de 10 YR 6/6 à 10 YR 8/4. Limite microdiffuse avec la matrice rouge, parties jaunes à blanc-jaunâtre plus friable. Très localement cette matrice semble présenter une différenciation périphérique plus sombre en bordure de ce liseret blanchâtre. Structure polyédrique nette, 1-5 cm, assemblage compact, mais séparation des agrégats apparemment facilitée par développement des taches jaunes sur les faces structurales. Volume des vides très faible. Cohérent. Quelques nodules "plombs de chasse", inf. à 1 cm, arrondis ou subanguleux, très durs.

- de 460 à 470 cm : Matrice argileuse de transition entre horizons **sus et sous-jacents. Brusque apparition de nodules arrondis ou irréguliers, subanguleux, 0,5-3 cm abondants, sur 10 cm, très durs (difficilement brisés au marteau), rouge très sombre 10 R-7,5 R 3/4-2/2, incluant micropaillettes de muscovite, certains à cortex périphérique brun-rouille, d'autres légèrement allongés (plaquettes de micaschiste fortement ferruginisé). Quelques graviers de quartz ferruginisé, arrondis, en forme de galets.**

- de 470 à 530 cm : Horizon bariolé. Extension du réseau tubulaire à structure microgrenue parallèlement au blanchiment. Microstructure à assemblage lâche. Teinte générale 5 YR 5/6, en fait juxtaposition de microgranules brun rougeâtres et blanc jaunâtres. Orientation subverticale et limites généra



lement très nettes et émoussées de ce réseau. Jusque 1,5 cm de largeur. Très nette augmentation du blanchiment de la phase ferme de l'horizon (70 %). La matrice rouge, 10 R 4/6, ne forme plus que des taches plus ou moins anastomosées (20-25 %), de taille variable (0,2-3 cm), irrégulières, traversées de tubules fins à gaine blanc jaunâtre. Abondance par contre de volumes rouge-pâle (2,5 YR 5/8) à rosâtres (7,5 R 6/4), à périphérie brun jaunâtre 7,5 YR 4/8-10 YR 6/8, plus ou moins développée, 0,5-4 cm, associées aux précédentes (avec transition 5 YR-2,5 YR), anastomosées, ou isolées par le réseau de taches blanc-jaunâtre qui tend à les émousser (localement subarrondies), dures (difficilement brisées à la main), certaines à texture apparemment légèrement plus sableuse (notamment les plus grandes, de teinte ocre 7,5 YR 5/8). Abondantes taches blanc-jaunâtre, 10 YR 6/6 à blanchâtres 10 YR 8/3, généralisées en bordure de volumes fermes, des faces structurales, et formant gaine autour des vides tubulaires anastomosées en un réseau qui s'étend aux dépens de la matrice rouge vers la base, peu friables (jaunes) à friables (blanches). Micropores plus abondants que précédemment. Certains d'entre eux présentent des revêtements rouges à brun-rougeâtres. Structure très nette, polyédrique 5-10 cm, à allongement vertical, à sous-structure nette, polyédrique 1-3 cm. Volume des vides faible entre agrégats. Meuble à cohérent suivant zones. Transition diffuse, régulière.

- de 530 à 570 cm : Diminution du réseau tubulaire à structure microgrenue. Direction verticale nette des plus gros tubules. Microgranules blancs plus abondant. La décoloration de la phase ferme s'accroît. Elle se développe essentiellement aux dépens des zones brun-rougeâtres à jaunâtres. 20 à 25 % de taches rouges, 10 R 4/6, irrégulières, inf. à 2 cm, généralement isolées, les plus grandes à allongement subvertical discret. Taches rouges 2,5 YR 5/8 et brun vif 7,5 YR 5/8 associées, en régression, ne forment plus que des auréoles discontinues ou des taches diffuses de moins de 2 cm. Localement limites très nettes entre taches rouges et matrice blanchâtre. Cohésion de ces taches associées nettement plus faible que précédemment (mais reste peu friable). Certaines taches 7,5 YR 5/8, parmi les plus grandes, sont cependant difficilement brisées à la main. Elles ont en outre une texture plus sableuse. Extension de la matrice décolorée, plus blanche que précédemment (10 YR 8/1), légèrement humide, argileuse, friable, continu occupant 50-60 %, jusque 2 cm de large entre taches rouges. Taches jaunâtres, 10 YR 6/6, diffuses, isolées ou associées aux précédentes. Fort contraste de teinte et de consistance entre taches rouges et brunes, et matrice blanchâtre. Augmentation de la porosité tubulaire fine. Structure peu nette, polyédrique 4-8 cm, localement plus nette, polyédrique 2-4 cm. Volume des vides très faible entre agrégats. Meuble à cohérent. Revêtements brun-rougeâtres dans certains pores fins affectant les taches ocres dures à texture plus sableuse. Transition diffuse, régulière.

- de 570 à 640 cm : Horizon peu différent du précédent. Très nette régression des taches rouges (moins de 10 %, inf. à 1 cm). Par contre augmentation relative du nombre de taches jaune-rougeâtres 7,5 YR 5/8 (20 %), inférieures à 1 cm, et associées aux précédentes (périphérie), ou de 1 à 3 cm, isolées ou anastomosées, variablement cohérentes. Certaines de plus grande taille rosâtres (en fait micro-hétérogénéité de teinte avec micro-ponctuations rouges dans matrice blanc-jaunâtre), difficilement brisées à la main, à texture apparemment plus sableuse, traversées de micro-pores revêtus de rouge. Matrice blanche, 10 YR 8/1 et tach

diffuses jaunâtres 10 YR 6/6, friables, argileuses, légèrement humide, idem. précédemment. Horizon légèrement plus sableux que le précédent. Structure peu nette à nette, agrégats de taille hétérogène (2-8 cm), sans orientation privilégiée. Volume des vides très faible entre agrégats. Meuble à cohérent. (Cette hétérogénéité semble refléter celle originelle d'un horizon de transition entre altérite et B rouge). Légère diminution du réseau pédotubulaire microstructuré. Transition diffuse, régulière.

- de 640 à 690 cm : Disparition totale des taches rouges. Taches jaunes et ocres 10 YR 6/8 dominantes, à coeur localement 7,5 YR 5/8, 30 à 40 %, étendues, irrégulièrement réparties, 1 à 8 cm, irrégulières, plus ou moins anastomosées, aux limites diffuses, légèrement humides, peu friables à non friables, sablo-argileuses à sables grossiers quartzeux, à pores fins et très fins peu nombreux, lesquels sont à revêtements brun-rougeâtres. Matrice blanc-grisâtre 10 YR 7/1, occupant 60 % de l'horizon, continue, humide, sablo-argileuse à argilo-sableuse, friable, non plastique, peu collante. Pores fins et très fins peu nombreux, non revêtus. Quelques pédotubules emplis de microgranules en assemblage lâche, blancs et beiges, moins de 5 %, subverticaux, moins de 1 cm de large. Ensemble massif, cohérent. Transition diffuse, régulière.

- de 690 à 790 cm : Humide. Taches jaunes, 10 YR 6/8, en même proportion mais plus larges (généralement plus de 30cm) et plus diffuses que précédemment. Micro-taches, 7,5 YR 5/8, liées aux vides tubulaires, arrondies ou allongées. Taches à peine plus cohérentes que la matrice blanche. Quelques tubes moyens à larges, revêtus 7,5 YR 5/8. Ensemble massif, cohérent, non friable. Pores peu nombreux, très fins et fins tubulaires. Très dur en sec. Nappe à 775 cm.

Analyse de ces données :

- a) Les ensembles d'horizons observés dans ce profil sont approximativement ceux du profil GOY 17 sus-jacent. On retrouve en effet
- . Des horizons A marqués par l'accumulation de matière organique (0-30 cm)
  - . Un horizon B1 de consistance brun rougeâtre à taches irrégulières (30-70 cm)
  - . Des horizons rouges différenciés au niveau de la structure et où sont associées des phases structurales denses, polyédriques, à des phases microgranuleuses en assemblage lâche (70-310 cm)
  - . Des horizons rouges profonds à taches brun rouge dont la taille, l'abondance et la répartition sont conditionnées par l'arrangement structural (310-470 cm)
  - . Des horizons hétérogènes de teinte fortement marqués par l'hydromorphose (365-530 cm)
  - . Des horizons fortement décolorés dont l'hétérogénéité est partiellement liée à une hétérogénéité texturale héritée du maté-

riau (horizons de transition vers l'altérite - à partir de 530 cm).

Nous n'entrerons pas dans le détail de l'organisation morphologique, ce qui nous conduirait inévitablement à redéfinir certains traits pédologiques décrits ci-dessus. Grâce à ce profil de transition, plus complet que les précédents, le développement relatif des différents ensembles nous permet cependant de préciser et d'avoir une vue plus synthétique, sinon génétique, sur les 2 grands types de différenciation caractéristiques de ces sols : L'arrangement structural et l'hydromorphose.

b) L'arrangement structural :

- La séquence structurale verticale est caractérisée par la superposition de bas en haut du profil :

. D'horizons à structure peu nette de type polyédrique, assez large (4-8 cm) mais hétérogène, sans orientation privilégiée, dont l'hétérogénéité semble héritée du matériau (horizons de transition avec l'altérite).

. D'horizons à structure nette, polyédrique (1-5 cm) à orientation préférentielle subverticale (du moins grandes faces structurales verticales d'une sur-structure). Les faces structurales sont souvent planes voire lisses, les arêtes anguleuses. L'assemblage est compact (volume des vides faible).

. D'horizons d'association entre une phase dense (volumes structurés ou noyaux argileux isolés) dont les caractéristiques sont (à quelques nuances près) celle de l'ensemble d'horizons sous-jacents, et une phase microgranuleuse en assemblage lâche, poreux, friable. La seconde phase se développe aux dépens de la première vers le haut du profil.

. D'horizons de consistance dont la structure de nouveau plus large et irrégulière, à orientation subverticale préférentielle, est polyédrique peu nette, génétiquement ou du fait d'une forte cohésion.

. D'horizons de surface, humifères dont la structure grumeleuse liée à l'accumulation de matière organique et l'action biologique est associée à des éléments structuraux denses, reliques apparents de l'horizon de consistance sous-jacent.

- Les modes d'association et de transition (progressivité notamment entre les ensembles structuraux superposés et les éléments structuraux d'un même ensemble définis précédemment, permet d'envisager 2 groupes génétiques d'horizons superposés.

. Des horizons rouges inférieurs pour lesquels l'évolution suivante peut être envisagée : Phase de structuration polyédrique (organisation) à partir d'horizons plus ou moins massifs issus de l'altération (altéro-plasmation), suivie d'une phase de microstructuration (par division, ou phase de dégradation). La macromorphologie ne permet pas de dire si une microstructuration polyédrique précède la phase granuleuse finale (micropeds). Les noyaux, ou volumes rouges et denses présents dans l'horizon à micropeds, étant interprétés comme reliques de l'horizon polyédrique sous-jacent. Cette séquence structurale se caractérise donc pas une accentuation en un même temps qu'un affinement de la structure du bas vers le haut :

. Des horizons bruns rouges à brun jaunes supérieurs (éclaircissement, jaunissement) : Un horizon de consistance compact se divisant à sa partie supérieure sous l'action combinée de l'accumulation organique et l'activité biologique.

Les caractères morphologiques relevés au niveau de la transition entre ces 2 ensembles d'horizons (vers 80 cm) ne permettent pas de définir le type de filiation structurale les reliant génétiquement. Deux hypothèses peuvent être formulées :

- . Une condensation du matériau microstructuré avec développement de la compacité et "jaunissement" simultané.
- . Un jaunissement progressif du plasma rouge dense des horizons profonds vers le haut du profil, l'apparition simultanée ou postérieure d'un horizon microstructuré intermédiaire introduisant une discontinuité dans le profil qui masque la filiation possible entre ces 2 plasmas.

Cette deuxième hypothèse semble plus conforme à la progressivité du changement de teinte du haut vers le bas du profil : les horizons microstructurés de teinte 2,5 YR, intermédiaires entre celle des horizons rouges profonds (10 R) et bruns rouges superficiels (5 YR), sont en effet caractérisés par une association de plasmas rouges et jaunes, le premier étant pratiquement seul constitutif de la majorité

des micropeds (premiers résultats micromorphologiques. Tout se passe comme si cet horizon microstructuré correspondait à un stade d'équilibre dans lequel l'association de deux types de plasma pour lesquels on peut prévoir des comportements différents est nécessaire au développement d'une microstructure.

L'étude micromorphologique en cours permettra probablement d'étudier ce problème mais aussi de définir avec plus de précision les caractéristiques fines de ces plasmas et éventuellement d'autres traits micromorphologiques caractéristiques de ces 2 groupes d'horizons (nous pensons notamment à des transferts de matière à différentes échelles).

Un élément supplémentaire éclaire l'évolution du matériau rouge polyédrique en 2 phases structurales, microgranuleuse et polyédrique dense (et/ou noyaux argileux). Ces derniers sont en effet parfois plus denses, plus rouges et moins poreux, que l'ensemble des horizons rouges sous-jacents; ce qui nous a laissé supposer une condensation de matière et notamment d'hydroxydes. Il semble en fait que de tels individus préexistent dans le plasma des horizons rouges compacts "originels" avec lesquels ils sont en continuité mais très faiblement différenciés par la teinte. Cela traduirait une certaine hétérogénéité héritée, et peut être des disparités dans la structure interne du plasma ("fabric") des horizons rouges originels. Notons que cette hétérogénéité subsisterait dans le B de consistance, si la 2ième hypothèse de filiation (cf.ci-dessus) est vérifiée.

c) L'hydromorphose :

Elle se manifeste dès 150 cm par un léger pâlissement affectant de-ci de-là quelques "noyaux" argileux parmi les plus denses. Plus profondément et progressivement elle se développe sous forme de taches d'abord micrométriques, exclusivement liées aux faces structurales et aux parois des vides tubulaires fins de la phase dense (la phase microgranuleuse en est dépourvue). Vers 310 cm ces taches augmentent en taille, et en contraste (7,5-10 YR). Toujours associées aux vides elles sont en continuité et présentent des limites diffuse avec le plasma rouge alors en position centrale dans les peds. La répartition irrégulière des taches claires calque celle des volumes denses et est liée à la faible porosité relative de ces derniers. Plus en profondeur ces taches forment une gaine blanchâtre discontinue puis continue autour des peds et des vides avant d'occuper l'espace

tiel des horizons à proximité de la nappe, la matrice rouge ne se présentant plus alors que sous forme de taches isolées dures. Le plasma affecté par cette décoloration ( accroissement puis blanchiment ) est plus humide, plus friable et plus poreux que le plasma rouge résiduel. On observe jusqu'à 530 cm tous les gradients de couleur entre le plasma rouge 10 R et les plages blanchâtres 10 YR 8/1. Au voisinage immédiat de la nappe, l'essentiel du plasma est décoloré à l'exception de taches ocres jaunes, irrégulières, de taille variable, isolées ou anastomosées, aux limites souvent nettes et à texture plus sableuse interprétées comme rélictuelles de l'altérite (horizons de transition).

L'hydromorphie se manifeste donc par une décoloration du plasma rouge qui débute au niveau des vides (pores tubulaires et faces des peds) et qui s'étend progressivement à la masse des horizons jusqu'au stade du blanchiment. Le plasma friabilisé plus facilement pénétré par la faune (ce qu'atteste un développement des pores tubulaires) subit probablement des transformations dans sa structure interne. Il semblerait même que ces transformations facilitent sa mise en circulation par des eaux de drainage; l'apparition d'un voile blanchâtre sur les faces des peds en serait l'indice.

Parallèlement on assisterait à des circulations de produits plus ferrugineux qui s'accumuleraient dans les volumes plus sableux alors structure d'accueil ou sous forme de cutanes ferrugineux dans les vides tubulaires affectant ces mêmes volumes.

d) Quelques autres caractéristiques de ce profil :

- La présence de nodules est notée sur 4 m (de 70 à 470 cm). Petits, arrondis (plombs de chasse) très durs, leur structure interne est macromorphologiquement indécélable jusqu'à 460 cm. Entre 460 et 470 cm, ils forment un horizon grossier dont les éléments de plus grande taille se présentent parfois sous forme de plaquettes ferruginisées incluant des minéraux feuilletés (muscovite ou kaolinite). Tous ces nodules sont interprétés comme reliques d'un ancien et épais niveau cuirassé, continu ou discontinu, à structure conservée au moins à sa base. Cette structure et l'apparition des traits reliques de l'altérite à 50 cm sous l'horizon grossier profond implique que cette induration s'est développée au moins partiellement à la partie supérieure de l'altérite. La présence de ces nodules dans la matrice rouge pose, comme dans les profils précédents le problème d'une filiation



entre argile rouge et formation indurée. L'absence d'horizon pédologique meuble, épais sous l'horizon grossier nous fait supposer qu'à la phase d'induration a succédé une phase de dégradation mais non de pédoplasmaton à partir de l'altérite. Ces faits sont conformes aux nombreuses observations faites sur des types de modelés et sols similaires de la région.

- Comme dans le profil précédent, les horizons rouges et notamment leurs phases denses remontent très haut dans le profil. Corrélativement le "jaunissement" de la partie supérieure et l'expression morphologique de l'accumulation organique sont discrets.

- L'intervention de la faune dans la microstructuration paraît constante dans le profil. Elle se manifeste surtout au niveau de pédotubules aux limites généralement assez nettes, à orientation grossièrement subverticale. Elle est importante dans les horizons d'accumulation organique. Elle est facilitée dans les horizons microstructurés meubles, tant dans son importance que dans sa généralisation. Cela n'empêche pas que les modes de répartition de la microstructure et son type de filiation avec les volumes plus denses (observations à la loupe) nous contraignent à envisager une microdivision <sup>essentiellement</sup> de nature physique. Plus en profondeur et au fur et à mesure que le plasma décoloré gagne en extension sur le plasma rouge (hydromorphose) les volumes microstructurés prennent une forme tubulaire subverticale de plus en plus nette. Les micropeds apparaissent alors multicolores. Parallèlement la porosité tubulaire semble s'accroître dans le plasma jaune plus friable. Dans ces horizons, le rôle de la faune dans la microstructuration semble donc prépondérante (les volumes microstructurés diminuant par contre en surface absolue).

La pénétration des matières organiques entre 10 et 70 cm est essentiellement localisée dans les volumes poreux, meubles, remaniés et microstructurés.

### 31 23 - Sol brun hydromorphe de rupture de pente.

Description du profil GOY 13 :

.....

- de 0 à 2 cm : Frais. 10 YR 4/3, humide, brun foncé. Taches, étendues, 10 YR 3/2, brun grisâtre très foncé, sans relations visibles avec les autres caractères, hétérogènes dans leurs dimensions, à limites peu nettes, peu contrastées, aussi cohérentes. A matière organique non directement décelable. Texture sablo-argileuse, à sable grossier quartzeux. Sables déliés, blanchis, abondants sur faces des agrégats et parois des plus gros vides.





Pas d'éléments grossiers. Structure très nette, généralisée, grumeleuse, grossière et très grossière. Volume des vides très important entre agrégats. Boulant, cohésion par racines. Pores très nombreux, tubulaires et vacuolaires, fins à larges, et porosité intersticielle. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Très friable. Quelques noyaux plus fermes (friables). Nombreuses racines, fines, pénétrant les agrégats. Chevelu très dense. Activité forte. Transition nette, régulière.

- de 2 à 15 cm : Frais. 7,5 YR 4/4, humide, brun. Taches, étendues, 10 YR 4/3, brun foncé. Caractéristiques proches de celles de l'horizon précédent. A matière organique non directement décelable. Texture argilo-sableuse, à sable grossier, quartzeux. Quartz déliés, blanchis, sur certaines faces d'agrégats. Structure nette, généralisée, polyédrique subanguleuse, moyenne. Surfaces des agrégats très contournées, mamelonnées, granuleuses. Assemblage peu net. Meuble. Pores très nombreux, très fins et moyens, tubulaires et intersticiels. Quelques vacuoles. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Friable. Quelques noyaux plus argileux, brun rougeâtres, plus fermes. Nombreuses racines, fines et moyennes, pénétrant la masse de l'horizon. Chevelu. Transition graduelle de teinte, consistance, structure, régulière.

- de 15 à 50 cm : Frais. 6,25 YR 4/6, humide, rouge-jaunâtre. Nuances de teinte, 7,5 YR 4/4, brunes, étendues, identiques aux précédentes. A matière organique non directement décelable. Très peu de graviers, 5 R 3/4, rouge-sombre, ferruginisés, durs, irréguliers, à arêtes émoussées. Texture argileuse. Pas de sables grossiers déliés visibles. Aspect massif de l'horizon. Mottes à cassures anguleuses, à microrelief de surface peu accusé et anguleux, à faces lisses dépourvues de micropeds fréquentes. Structure fragmentaire, peu nette et localisée, polyédrique, fine. Assemblage peu net. micropeds granuleux plus fréquents que dans horizon équivalent des profils précédents. Volume des vides faible entre agrégats. Pores nombreux, très fins et fins, tubulaires, sans orientation dominante. Meuble à cohérent. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Friable à peu friable. Noyaux fermes de toutes dimensions fréquents. Donc moins poreux et plus cohérent qu'horizon précédent, mais plus poreux (par tubes et porosité inter-micropeds) et plus meuble qu'horizons équivalents (B1c) des profils précédents. Remplissages biologiques, 7,5 YR 4/4, dans tubes larges. Racines, fines et moyennes, dans la masse de l'horizon. Chevelu. Transition diffuse, régulière.

- de 50 à 90 cm : Pas de variations très sensibles par rapport à l'horizon précédent. Frais, 5 YR 4/8, humide, rouge jaunâtre. Sans taches. Apparemment non organique. Sans éléments grossiers. Texture argileuse. Structure peu nette, polyédrique grossière et moyenne. Assemblage peu net (pas de vides visibles sur le front de coupe). Volume des vides très faible entre agrégats. Micropeds un peu plus abondants, mais noyaux fermes plus nombreux et plus gros. Meuble à cohérent (horizon à peine moins cohérent que le précédent). Facettes millimétriques planes, arêtes anguleuses, fréquentes. Pores nombreux à très nombreux, tubulaires, très fins et fins, sans orientation dominante. Des volumes friables et des noyaux argileux peu friables, idem précédemment. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Racines fines, dans la masse de l'horizon. Chevelu. Transition diffuse, régulière.

- de 90 à 160 cm : Frais. 5 YR 5/8, humide, rouge jaunâtre. Taches en haut, nombreuses taches en bas, ségrégations rouges 2,5 YR 4/6 et jaune brunâtres 10 YR 6/8, affectant les noyaux fermes, le rouge dominant préférentiellement localisé au centre de ces noyaux, le jaune à la périphérie ou autour des tubes fins les traversant. Ces taches affectent toute la masse des noyaux. Apparemment non organique. Texture argileuse. Structure très nette, généralisée, polyédrique, fine et moyenne, juxtaposée à une structure granuleuse très fine (micropeds). En fait surtout noyaux polyédriques durs à arêtes anguleuses (0,5-2 cm) isolés dans gangue très meuble composée essentiellement de micropeds. Volume des vides important entre agrégats. Très forte porosité inter-microagrégats et tubulaire très fine et fine, très faible dans noyaux fermes. Cassure franche, lisse, voire légèrement luisantes de ces noyaux. Ensemble de l'horizon meuble. Noyaux très peu friables, gangue fine emballante très friable. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Racines, fines, dans la masse de l'horizon. Chevelu. Transition diffuse, régulière.

- de 160 à 230 cm : Frais. Jaunissement de l'ensemble de l'horizon. Matériau meuble microstructuré, 5 YR 5/6, rouge jaunâtre. Les taches rouges 2,5 YR 4/8 s'estompent, les taches jaunes 10 YR 7/8, dominant et pénètrent la masse des noyaux fermes. L'interpénétration de ces deux domaines est forte et les limites plus diffuses, le contraste diminue. Quelques taches jaunes très pâles apparaissent. Si à la partie supérieure de l'horizon le volume de terre friable est encore supérieur à celui occupé par les noyaux, ces derniers dominant à la base, d'où une couleur jaune dominante. La texture semble moins argileuse. Le nombre et la densité des noyaux fermes va croissant. Les volumes meubles très friables où se concentrent les micropeds définissent un réseau discontinu isolant localement des noyaux isolés ou regroupés en volumes centimétriques, formant des ensembles cohérents. Structure très nette et généralisée, polyédrique, fine à grossière (noyaux), juxtaposée à une structure granuleuse très fine (micropeds). Ensemble de l'horizon très meuble. Très peu de graviers, millimétriques, arrondis, durs, fortement ferruginisés. Induration de certains noyaux argileux. Forte porosité entre micropeds. Pores peu nombreux, tubulaires, très fins et fins dans noyaux. Volume des vides assez important entre agrégats. Quelques racines fines, contournant les noyaux indurés mais pénétrant le reste du matériau. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Activité faible. Transition diffuse, régulière.

- de 230 à 290 cm : Une anastomose des noyaux réduit encore le volume occupé par les micropeds, qui prend alors la forme de tubules. La couleur dominante est blanche, 10 YR 8/1-8/2, et affecte la masse des noyaux fermes jointifs. Dans ces plages blanches s'isolent des taches très abondantes, peu anastomosées, irrégulières, de 0,2 à 2 cm, rouges, 2,5 YR 4/6, plus indurées que les taches rouges précédentes, très contrastées, à limites assez nettes. Des taches jaunâtres peu nombreuses, se localisent surtout à la périphérie des taches rouges, ou, millimétriques, sont éparses dans la masse blanche. Cette dernière se débite en polyèdres fins et très fins. Les volumes réduits occupés par des micropeds sont rouge jaunâtres, 5 YR 5/6, et incluent de nombreux micropeds blanchâtres. La structure d'ensemble est identique à celle de l'horizon précédent. Le volume des vides, important entre micropeds, est faible entre noyaux fermes. La porosité est du même type que précédemment. Les micropeds sont très friables, les zones blanchâtres friables, les

taches rouges peu à non friables. La texture est argilo-sableuse. Quelques racines, fines. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Pas d'éléments grossiers. Transition graduelle, régulière.

- de 290 à 360 cm : Frais à humide. 10 YR 7/1, humide, gris clair. Taches, 5 à 10 %, 2,5 YR 4/6-6/8, rouge à rouge clair, sans relations visibles avec les autres caractères, ou liées à des noyaux légèrement plus fermes que la masse, irrégulières, 0,5 à 2 cm, à limites peu nettes, contrastées, légèrement à plus cohérentes, mais nettement moins indurées que taches rouges précédentes. Autres taches, 10 YR 6/8-7/8, jaunes, à la périphérie des précédentes ou isolées dans la masse, hétérogènes dans leurs dimensions, à limites peu nettes, contrastées à peu contrastées, aussi cohérentes. Texture argilo-sableuse, à sable grossier quartzeux. Structure nette, polyédrique, fine à grossière, à arêtes très anguleuses. Assemblage peu net. Cohérent. Localement peu meuble. Volumes réduits, en forme de tubules subverticaux, emplis de micropeds, 7,5 YR 5/6 et blancs. Rares tubes moyens, emplis de matériau rouge, 2,5 YR 4/6. Pores peu nombreux, très fins à moyens, sans orientation dominante. Peu friable. Rares racines fines, dans la masse de l'horizon. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Transition graduelle, régulière.

- de 360 à 400 cm : Horizon paraît boulant ou tout au moins très meuble lors du prélèvement de monolithes. Frais à humide. 10 YR 7/1, humide, gris clair. Très rares taches rouges précédentes. Taches 10 %, 7,5 YR 6/8, jaune rougeâtres. sans relations visibles avec les autres caractères, irrégulières, 0,5-2 cm, isolées, à limites peu nettes à nettes, contrastées, légèrement plus cohérentes. Volume occupé par les micropeds, nettement plus important, isole de nouveau des noyaux fermes tachés. La teinte générale de ces micropeds est 5 YR 5/6, rouge jaunâtre, mais nombre d'entre eux sont rouges ou blancs. Structure d'ensemble très nette, polyédrique, fine, à assemblage peu net, juxtaposée à une structure granuleuse très fine (micropeds). Quelques noyaux moyens à grossiers fermes mais ensemble plus friable que précédemment. Très meuble. Volume des vides important entre agrégats. Pores nombreux, tubulaires, fins et très fins, quelques tubes moyens, sans orientation dominante. Quelques racines, moyennes, mortes. Texture argilo-sableuse. Pas d'éléments grossiers. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Transition graduelle, régulière.

- de 400 à 440 cm : Aspect général identique à celui de l'horizon précédent, mais très nette diminution du volume occupé par les micropeds (inf. à 10 %). Taches jaune rougeâtres aussi nombreuses, jusque 3-4 cm, toujours isolées, à limites nettes, très contrastées, indurées (nettement plus cohérentes). Ensemble cohérent. Débit polyédrique moyen et grossier. Porosité tubulaire fine et très fine, très faible. Cassures des mottes très irrégulières, très anguleuses, à nombreuses facettes planes et lisses. Peu à non friable. Quelques tubes moyens à larges. Rares racines, fines. Quelques graviers ferruginisés, durs, 2,5 YR 4/4, laissant apparaître des paillettes de muscovite. Quelques autres nodules, à arêtes émoussées, 1 cm, 5 YR 5/6. Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Transition diffuse, régulière.

- de 440 à 490 cm : Aspect identique à celui de l'horizon précédent. Taches jaune-rougeâtres plus nombreuses (20 à 30 %), de plus grande taille (2-4 cm), aussi irrégulières, tendant à s'anastomoser, très contrastées, à limites souvent très nettes. Elles s'entourent parfois d'un liseret jaunâtre, 10 YR 5/6, à limites moins nettes, et/ou leur masse se ponctue de rouge 2,5 YR 4/6. Elles sont assez fortement indurées. La matrice blanche, 10 YR 8/1, paraît plus argileuse. Elle est traversée de tubes moyens à larges (0,5-2 cm), parfois partiellement emplis de micropèdes blancs ou jaunâtres. L'ensemble confère à l'horizon un aspect vermiculé. La matrice blanche présente localement une structure polyédrique fine, mais l'ensemble est compact peu à non friable. Certains macrotubules à parois lisses, mamelonnés, semblent écouler les noyaux jaune-rougeâtres, indurés, durs, qu'ils contournent. Les autres pores tubulaires, très fins, sont peu nombreux. Rares racines. A la base la matrice blanche est humide, peu plastique, peu collante, alors que les noyaux indurés sont frais. Transition diffuse, régulière.

- de 490 à 530 cm : (nappe à 510 cm). Humide. Blanc, 10 YR 7/1. Quelques taches rouilles, diffuses, 2-5 cm, aussi cohérentes, à la partie supérieure. Quelques autres taches rouilles liées aux tubes moyens. Texture argilo-sableuse, à sable grossier, quartzueux. Structure massive, à éclats anguleux. Grandes faces planes. Tubes très fins et fins, très peu nombreux. Quelques tubes moyens et larges. Peu plastique. Peu collant. Revêtements argileux, 5 YR 5/6, associés à quelques tubes moyens. Pas de racines. Activité nulle.

Analyse de ces données :

- Ce profil diffère donc nettement des précédents par sa couleur et les taches, mais on retrouve la disposition fondamentale en quatre niveaux (ou groupes d'horizons) différenciés notamment par leurs composantes structurales (l'altérite n'étant pas atteinte dans ce profil). Il s'agit :

. de 0 à 15 cm : Horizons marqués par l'accumulation de matière organique et fortement perturbés par la faune.

. de 15 à 90 cm : Horizons assez compacts (légèrement cohérents), à structure mal exprimée ou localisée, à volume des vides faible entre agrégats, et porosité moyenne essentiellement tubulaire.

. de 90 à 230 cm : Horizons meubles caractérisés par une juxtaposition de "noyaux fermes", de volumes à structure polyédrique développée et de micropèdes, les plus abondants à ce niveau. La porosité inter-agrégats est forte.

. de 230 cm à la base : Horizons de nouveau progressivement plus compacts, à noyaux argileux jointifs, à structure plus grossière, à micropèdes moins abondants et localisés, à porosité tubulaire, plus faible, cohérents, à volumes des vides peu importants entre agrégats.

- Mais cette similitude dans l'organisation générale du profil ne se retrouve pas tout à fait au niveau de l'arrangement structural de détail (à l'échelle de l'horizon). Certes, et comme dans les profils précédents il existe un certain gradient croissant de la taille et de l'abondance des agrégats polyédriques (et un gradient inverse de l'abondance des micropeds), mais :

. La structure polyédrique est, à tous les niveaux, plus développée (structure nette et très nette) et généralement plus grossière que dans les profils amont. Les faces des agrégats sont nettes, souvent lisses, et les arêtes anguleuses. Nous n'observons donc pas de volumes à "débit polyédrique" ou "d'aspect massif".

. Les noyaux fermes sont eux-mêmes nettement individualisés. La similitude des formes (polyèdres anguleux) entre ces "noyaux isolés" et les agrégats polyédriques des volumes structurés nous amène à conclure à une même origine : Structuration par fragmentation d'un matériau initialement plus massif ou à structure grossière. Ainsi le passage de l'horizon 90-160 cm, dans lequel des noyaux fermes peu nombreux sont isolés dans des volumes à structure polyédrique fine ou microgranuleux, à l'horizon 290-360 cm à structure nette polyédrique grossière, se fait-il par une coalescence apparente des noyaux anguleux. Ceux-ci apparaissent nettement, entre 200 et 290 cm, comme les éléments grossiers d'une structure polyédrique dont la phase fine (structure polyédrique fine) disparaît progressivement. Simultanément les micropeds se concentrent dans des volumes de plus en plus réduits. Nous avons donc dans ce profil, plus nettement que dans les profils précédents l'impression que l'horizon meuble intermédiaire (ici 90-160 cm) est le résultat d'une fragmentation progressive de la partie supérieure d'un horizon profond à structure continue plus grossière, les noyaux fermes isolés étant alors interprétés comme reliques de ce matériau primitif.

. Ces noyaux fermes sont plus grossiers, plus abondants et apparemment plus denses que dans les profils amont. On les observe dès l'horizon humifère (noyaux fermes, plus grossiers et plus rouges que les agrégats de la matrice emballante entre 2 et 15 cm). Cela se traduit par une densité apparente plus élevée que dans les profils amont, y compris dans les horizons intermédiaires meubles (90-230 cm) (cf. caractéristiques physiques). Donc au développement du processus d'hydromorphie et en tout cas au jaunissement d'ensemble de ce profil de bas de pente (cf. ci-dessous)



semble correspondre une plus faible maturation structurale (prise dans le sens de finesse de la structure). Elle atteint son minimum dans les horizons compris entre 400 et 510 cm, directement sus-jacents à la nappe : Structures peu nettes, localisées, généralement grossière.

. Si dans les profils précédents on constate, à certains niveaux au moins, un passage progressif des "noyaux" aux micropeds par l'intermédiaire de volumes à structure variablement exprimée, ce profil se distingue par une nette opposition entre volumes à structure microgremue et volumes à structure polyédrique nette (limites souvent tranchées). Les premiers prennent dès 230 cm une allure pédotubulaire à orientation subverticale. Ce profil permet donc de saisir la filiation entre noyaux denses et phase continue à structure polyédrique, mais plus difficilement d'imaginer le mode de formation des micropeds à partir de l'un ou l'autre de ces deux éléments structuraux. La juxtaposition de ces deux phases structurales (agrégats polyédriques + noyaux et micropeds) confère localement un aspect réticulé aux horizons (160-230 cm).

. Ce profil profondément marqué par l'hydromorphie présente une hétérogénéité de teinte nette dès 160 cm (cf. ci-dessous). Dès 230 cm les micropeds présentent eux-mêmes ces importantes variations de teinte. Des micropeds rougeâtres jouxtent des micropeds bruns, jaunes ou blancs. Mais il n'y a pas de correspondance entre ces variations d'échelle millimétrique et la localisation des plages de couleur centimétriques affectant les volumes à structure polyédrique. Seule l'action pédoturbatrice de la faune semble pouvoir expliquer ces dispositions relatives. La formation des micropeds serait postérieure aux ségrégations ferrugineuses dues à l'hydromorphie, mais rien n'indique si elle résulte de l'action de la faune ou si cette dernière est elle-même postérieure à l'individualisation des micropeds : simple remaniement faunique. Rappelons à ce propos les observations précédentes : L'hydromorphie ne s'exerce que dans les volumes fermes, peu poreux. Il est probable donc que l'individualisation de ces micropeds en milieu hydromorphe procède d'autres mécanismes que celle des micropeds formés en milieu bien drainé dans les profils amont.

. La compacité des horizons compris entre 15 et 90 cm n'atteint pas celle des horizons de consistance des profils précédents, et notamment des profils de haut de pente (GOY 11 et 12) : Les micropeds sont plus nombreux, la porosité plus forte, la cohésion plus faible.

Ces caractères semblent traduire une dégradation de cet horizon liée à l'appauvrissement superficiel plus prononcé que dans les profils amont (cf. infra). Il semble donc qu'il y ait aussi un gradient dans la toposéquence des caractères massifs de certains horizons, gradient "primaire", primitif en quelque sorte.

. Nous signalons en GOY 17 des niveaux meubles et poreux entrecoupant de grands horizons compacts. Un tel niveau est observé dans ce profil entre 360 et 400 cm. Il est caractérisé par une structure d'ensemble nette, polyédrique fine juxtaposée à une structure granuleuse assez développée. L'ensemble est très meuble, friable, poreux. Les horizons sus et sous-jacents étant cohérents, nettement moins poreux, à structure polyédrique grossière variablement exprimée. Les limites de cet horizon meuble sont graduelles (assez nettes à l'échelle du profil). Le déterminisme d'un tel horizon nous est inconnu : Il ne correspond à aucune variation du pédoclimat (au moment de l'observation).

Nous devons d'autre part noter une certaine hétérogénéité centimétrique de la porosité des horizons profonds (au-delà de 160 cm notamment). Elle est liée aux importantes variations de taille des éléments structuraux. Elle se traduit en particulier par des variations verticales des propriétés physiques (cf. chapitre correspondant).

On observe enfin le développement d'une macroporosité tubulaire (tubes moyens et larges) à partir de 440 cm donc dans la zone de battement de nappe.

- Les horizons humifères et de pénétration humique sont plus contrastés, plus sombres et plus épais que ceux des profils rouges de l'amont. Ce contraste tient probablement à la teinte générale jaune de ces horizons. Leur chroma plus bas est peut être lié à une variation de la composition de la matière organique en relation avec un pédoclimat particulier (plus humide). L'épaisseur des horizons humifères (15 cm) et la forte pénétration humique (50 cm) paraissent associées à l'appauvrissement superficiel en argile : Imprégnation homogène des horizons supérieurs sablo-argileux et très poreux, pénétration hétérogène en taches dans la masse et sur les faces verticales des unités structurales des horizons intermédiaires "dégradés" sous-jacents.

L'appauvrissement superficiel en argile est net. Mais nous n'observons pas d'horizon diagnostique (JP. MULLER, 1973). Le gradient d'argile atteint cependant 1,7 (cf. caractéristiques physiques). Cet appauvrissement est aussi signalé par la présence de sables grossiers déliés blanchis sur les faces des agrégats ou sur les parois des vides entre 0 et 15 cm, fait significatif d'une liaison imparfaite entre matières organique et minérale.

On remarque d'autre part la simultanéité du développement du processus d'appauvrissement et du jaunissement superficiel du profil.

On constate que l'horizon supérieur compact (ou de consistance) ne correspond pas au maximum d'argile du profil mais se situe au sein de la zone appauvrie (ou à la rigueur chevauche cette zone et celle d'argilisation maximum). En d'autres termes si l'appauvrissement en argile est le plus prononcé, et l'horizon de consistance apparemment le plus net dans les sols les plus "jaunes" (GOY 11 et 14), il ne semble pas que la localisation et le développement (épaisseur du profil concernée) de ces deux caractères soient strictement liés : L'horizon de consistance est un caractère constant de tous les profils de la séquence, l'appauvrissement n'est net que dans les profils de haut et de bas de pente.

Les agrégats (ou noyaux), plus rouges, plus argileux, grossiers et fermes, épars dans les horizons humifères sont des reliques de la partie supérieure de l'horizon compact sous-jacent, et témoignent donc du développement des horizons humifères appauvris aux dépens des horizons B. Notons que ces formes de résistance étaient plus rarement observées dans les profils précédents. Ce caractère est significatif de la fermeté d'ensemble du matériau pédologique de bas de pente (cf. ci-dessus et caractéristiques physiques).

- L'hydromorphose est, avec la structure, un important caractère qui individualise ce profil de bas de pente. Elle se manifeste dès 90 cm. Deux traits la caractérisent :

. Elle affecte les volumes fermes. Ainsi entre 90 et 160 cm, les ségrégations ferrugineuses qui lui sont dues ne forment que des taches isolées affectant les noyaux fermes épars dans l'horizon. La coalescence de ces noyaux dans les horizons sous-jacents et le



passage aux horizons à structure polyédrique grossière se traduit par une généralisation et une anastomose des taches, donc par un aspect plus bariolé des horizons. On voit là la possibilité d'une nodulation, ou accumulation ferrugineuse discontinue, après induction de taches isolées affectant des noyaux fermes.

. Sa première expression (hydromorphose) est l'apparition de taches, rouge dominant, à fine auréole jaunâtre (90-160 cm). Dans l'horizon sous-jacent les taches jaunes se développent aux dépens des taches rouges légèrement plus cohérentes (160-230 cm). A partir de 230 cm la matrice blanchit, les taches jaunes et rouges diminuent en nombre et taille, les taches jaunes régressant plus rapidement que les rouges, lesquelles s'indurent tout en prenant une forme nodulaire subarrondie aux limites nettes. Entre 290 et 360cm, les taches jaunes deviennent rares, les taches rouges plus claires et moins cohérentes, les premières paraissant alors résulter de la dégradation des secondes. Entre 360 et 400 cm, seules subsistent quelques taches rouges et des taches brun-jaunes légèrement plus cohérentes que la matrice.

A partir de 400 cm une nouvelle génération de taches apparaît. Jaune-rougeâtres, de grande taille (3-4 cm), elles sont très contrastées, à limites nettes et indurées. Elles deviennent plus nombreuses entre 440 et 490 cm et tendent à s'anastomoser. Elles sont parfois bordées d'un liseré jaune et leur masse se pontue de micro-taches rouges. Elles disparaissent dès 490 cm en laissant place à des taches rouilles diffuses, aussi cohérentes que la matrice. Ces caractéristiques peuvent être celles d'un gley ou d'une plinthite.

On observerait donc deux générations simultanées de "nodules actuels"

. Entre 90 et 360 cm : Formation de nodules rouges isolés par concentration progressive de fer dans des noyaux fermes avec extension de la décoloration de la matrice. Maximum de différenciation de ces nodules (mais pas nombre maximum) entre 230 et 290 cm; puis disparition progressive jusque 360 cm.

. A partir de 400 cm, deuxième génération de nodules jaune-rougeâtres (rouilles), de plus grande taille, plus indurés que les précédents, qui tendent à s'anastomoser, mais qui disparaissent dès 490 cm.

Entre 360 et 400 cm, les taches jaune-rougeâtres peuvent être interprétées comme le résultat de la dégradation des taches rouges sus-jacentes, ou le stade primitif d'individualisation des taches jaune-rougeâtres indurées sous-jacentes, Elles pourraient aussi constituer un stade transitoire de transformation de l'une à l'autre de ces deux phases de nodulation. A moins que ces taches soient "primitives".

- Aucune cuirasse continue ou fragment de cuirasse à faciès vermiculé\* n'est observé dans ce profil. Par contre on relève la présence de petits nodules durs à trois niveaux successifs :

. de 15 à 50 cm : Quelques éléments de la taille des graviers (inf. à 2 cm), rouge sombre (5 R 3/4), ferruginisés, durs, irréguliers, à arêtes émoussées.

. de 160 à 230 cm : Très peu de graviers "plombs de chasse", millimétriques, fortement ferruginisés, durs, arrondis.

. de 400 à 440 cm : Quelques graviers ferruginisés, durs, 2,5 YR 4/4, laissant apparaître des paillettes de muscovite(?).

La présence de paillettes blanc laiteux (muscovite ?) dans les éléments ferruginisés du troisième niveau semble témoigner en faveur d'une induration ferrugineuse, continue ou discontinue, d'une altérite ou de fragments de roche altérée. Mais rien n'indique s'il s'agit de reliques d'une cuirasse continue du type de celle observée en GOY 11, 12, 15, ou d'une ferruginisation discontinue de poches d'altérite identique à celle notée à la base de GOY 17, et interprétée comme plus récente. Quoi qu'il en soit ces éléments, sans continuité apparente avec la matrice emballante ou l'altérite sous-jacente, ne semblent pas en équilibre avec les conditions pédogénétiques actuelles.

La taille des éléments ferruginisés des deux niveaux supérieurs ne permet pas d'identifier la nature du matériau ferruginisé (altérite ou phase argileuse).

-----  
\* Cuirasse à faciès vermiculé : accumulation ferrugineuse continue dont le réseau induré isole un réseau de vacuoles évidées ou emplies d'argile meuble (apparaissant souvent discontinu sur le front de coupe).

L'existence de ces trois niveaux de (faible) concentration d'éléments grossiers ferruginisés permet de tirer certaines conclusions ou avancer quelques hypothèses d'ordre chronologique :

. Une (ou plusieurs) phases d'induration, dont les niveaux décrits ci-dessus sont les témoins, a précédé la (ou les) phases de nodulation "actuelle" dont les "nodules" sont eux en continuité apparente avec la matrice emballante (cf. supra). A moins que la discontinuité ne soit la conséquence du degré d'évolution actuel du trait; ce qui paraît peu probable pour l'ensemble de ces nodules.

. Nous avons envisagé, à propos des profils précédents, une filiation possible entre des reliques ferruginisées et la phase argileuse rouge. La dégradation des formations indurées, dont ces "nodules" seraient les reliques, aboutirait-elle ici à un matériau de nature ou d'organisation différente, ou a-t-il existé une phase transitoire rouge secondairement transformée en ce matériau jaunâtre caractéristique de ce profil de bas de pente ? Il est probable que suivant les conditions pédoclimatiques locales, les produits de transformation d'une formation indurée rouge donnée, ou de formations voisines, soient de nature différente en haut ou en bas de pente.

. La discontinuité apparente entre ces trois niveaux suggère la succession de plusieurs cycles (ou étapes ?) d'induration (ou d'hydromorphie) affectant divers niveaux d'un profil au fur et à mesure de son approfondissement par exemple. Les nodules du niveau supérieur seraient les reliques de l'induration la plus ancienne, ceux de la base représentant la dernière phase indurée relique. Mais la présence de deux générations de nodules "actuels", qui apparaissent à deux niveaux différents signifierait la possibilité d'une simultanéité de deux phases de nodulation. En outre, <sup>les</sup> deuxième et troisième niveaux de reliques sont inclus dans la zone d'hydromorphie actuelle. Cela signifierait-il une hydromorphie remontante postérieure à la dernière phase d'induration relique ? Les horizons blanchis et hydromorphes de bas de pente, très épais en regard de la profondeur de la nappe, correspondent-ils alors à un "bouchon" kaolinique de bas de pente ? (type accumulation par néoformation au-dessus de la nappe envisagée dans d'autres séquences - JP. MULLER 1974). On saisit là toute la complexité de la pédogenèse de ces sols dans lesquels faits anciens et récents s'interpénètrent.

. La (ou les) pédogenèse ancienne était donc fortement ferruginisante, alors qu'à une époque plus récente (ou actuellement) l'induration ferrugineuse semble être limitée à la base des profils de bas de pente, dans la zone de battement de nappe; encore est-elle discontinue. Les phénomènes de dégradation l'emporteraient actuellement sur ceux d'accumulation.

- Nous avons lié plus haut/<sup>d'</sup>une part les deux phénomènes de jaunissement et d'appauvrissement dans les horizons supérieurs, et d'autre part le jaunissement et l'hydromorphie dans les horizons inférieurs. Dans ce profil de bas de pente où l'hydromorphie se manifeste très haut (dès 90 cm), les horizons les plus vifs se situent entre 50 et 160 cm et ne sont que rouge-jaunâtres (5 YR 5/8). Dès 230 cm, et par une transition relativement brusque, la matrice devient blanche (10 YR 8/1). Il est frappant de constater, certes en saison sèche, que la nappe n'est atteinte qu'à 510 cm. Mais les horizons apparaissent frais à humides dès 250 cm, et les profils hydriques montrent d'autre part que la saturation est atteinte dès 2 m en saison humide. Cette forte décoloration apparemment incompatible avec la profondeur de la nappe et la position topographique (rupture de pente), pourrait donc malgré tout concorder avec les conditions hydriques actuelles (cf. caractéristiques physiques et hydriques).

Dans ces conditions la phase de nodulation rouge atteindrait son maximum de différenciation au toit de la frange capillaire. Ce fait "normal" renforcerait l'hypothèse de l'actualité de cette nodulation. Mais le problème de la nodulation jaune-rougeâtre entre 400 et 440 cm, donc en pleine zone d'hydromorphie prolongée, n'est pas élucidé. S'agit-il de reliques en voie de déferruginisation ? Mais on n'observe pas de solutions de continuité avec les reliques rouges notés à la même profondeur.

### 32 - Le sol hydromorphe de bas-fond :

Plat, de 30 m de large, ce bas-fond correspond à une tête de thalweg.  
Description du profil GOY 14 :  
.....

- de 0 à 10 cm : Frais. 8,75 YR 5/4, humide, brun-jaunâtre. Taches, 10 YR 4/4, brun-jaunâtre foncé, sans relations visibles avec les autres caractères, hétérogènes dans leurs dimensions, irrégulières, à limites peu nettes, peu contrastées. Aucune autre tache. A matière organique non directement décelable.

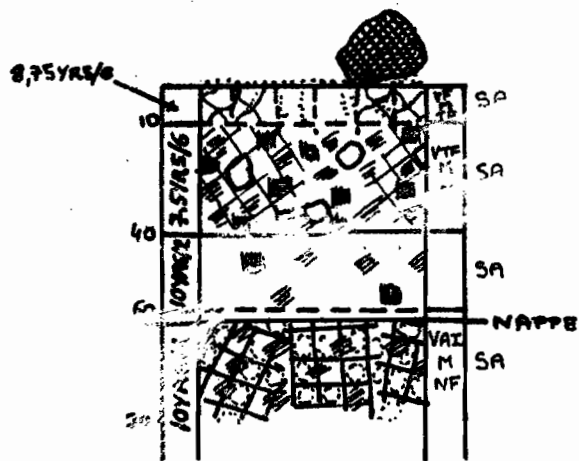


FIG 10 : MORPHOLOGIE DU PROFIL GOY 14.  
 (légende cf. Fig 5)

Texture sablo-argileuse, à sable grossier quartzeux. Bloc de cuirasse vermiculée, 20 cm, en surface. Pas d'autres éléments grossiers. Structure peu nette et localisée, polyédrique subanguleuse, très grossière, associée à une structure massive à éclats anguleux. Meuble. Volume des vides faible entre agrégats. Forte porosité intersticielle, pores très nombreux, tubulaires, très fins et moyens, sans orientation dominante. Film de sables grossiers, quartzeux, déliés, blanchis, en surface, sur parois des plus gros pores et sur certaines faces verticales d'agrégats. Très friable. Nombreuses racines, fines, pénétrant la masse de l'horizon. Chevelu. Activité forte. Transition graduelle, régulière, de texture et par taches. 2,5 YR 4/6, rouges, étendues, inf. à 1 cm, sans relations visibles avec les autres caractères, irrégulières, à limites peu nettes à nettes, aussi à plus cohérentes, contrastées à très contrastées, parfois indurées. Texture sablo-argileuse, à sable grossier et sable fin, quartzeux. Pas de sables déliés blanchis. Apparemment non organique. Pas d'éléments grossiers. Structure peu nette, localisée, polyédrique grossière, associée à une structure massive à éclats anguleux. Meuble. Volume des vides très faible entre agrégats. Pores nombreux, tubulaires fins, sans orientation dominante. Friable. Noyaux centimétriques plus fermes. Racines, fines, dans la masse. Chevelu. Activité faible. Transition distincte, régulière, de teinte et texture.

- de 40 à 60 cm : Très humide. 10 YR 6/2, humide, gris-brunâtre clair. Taches, 5-10 %, étendues, 5 YR 5/8 à 2,5 YR 4/6, rouge-jaunâtres à rouges, liées aux pores ou sans relations visibles avec les autres caractères, généralement inférieures à 1 cm, irrégulières, à limites peu nettes, contrastées, aussi cohérentes. Texture sablo-argileuse, à sable grossier, quartzeux. Structure massive à éclats anguleux. Tubes peu nombreux, fins, sans orientation dominante. Non plastique. Peu collant. Pas de revêtements. Rares racines, fines, dans la masse. Activité très faible. Transition nette, de consistance, graduelle de texture, régulière.

- de 60 à 90 cm : Nappe à 63 cm. Très humide. 10 YR 6/1, humide, gris. Taches, 5 %, 7,5 YR 5/8, brun vif, étendues, sans relations visibles avec les autres caractères, irrégulières, inf. à 1 cm, à limites nettes, contrastées, plus cohérentes. Quelques autres taches, 10 YR 5/2, dans la masse, diffuses. Texture sablo-argileuse. Structure très nette, polyédrique, à faces peu nombreuses et planes, associée à une structure cubique. Volume des vides assez important entre agrégats. Agrégats à périphérie plus claire (à sables grossiers déliés) et plus humide que le centre. Meuble. Agrégats très fermes. Peu plastique. Peu collant. Tubes très nombreux, très fins et fins. Pas de racines. Activité nulle.

Analyse de ces données :

- Ce profil de bas-fond (ou du moins sa partie accessible) est donc par ses traits fort distincte des profils de la séquence ferrallitique de l'interfluve.

- Son évolution est largement dominée par l'hydromorphie, quasi permanente au-delà de 60 cm (nappe à 60 cm fin Novembre 1973).

La matrice est blanc-jaunâtre (10 YR 6/2) dès 40 cm. Mais dès 10 cm apparaissent d'assez nombreuses taches décolorées 10 YR 6/4 dans un horizon B peu épais, brun vif (7,5 YR), à caractères gleyeux. Elles jouxtent d'autres taches rouges (2,5 YR), aux limites variablement nettes, légèrement plus cohérentes. Comme dans le profil GOY 14, cette nodulation apparaît dans la frange capillaire et s'estompe progressivement dans les horizons engorgés : Taches jaune-rougeâtres et jaunâtres peu nombreuses, les taches rouges disparaissent dès 60 cm. Cette répartition des teintes est typique d'un gley : La phase plasmique décolorée se développe préférentiellement au contact des vides (faces des pores et des peds), l'autre, plus riche en hydroxydes, brune, jaune ou rouge selon l'état d'oxydation, étant répartie en nodules ou halos au centre des peds et particulièrement des plus fermes.

Aucun ferrane rouge dans les pores et sur les faces des agrégats, témoins éventuels d'une accumulation d'hydroxydes après lixiviation du Fe II, n'a été observé.

De même, nous n'avons noté aucune accumulation et incorporation de débris figurés, de granules et de produits colloïdaux très sombres, témoins éventuels d'un gley de surface. Les horizons humifères sont au contraire relativement massifs, faiblement et homogènement teintés par une matière organique apparemment peu abondante. La surface est couverte d'un mince film discontinu de sables grossiers déliés, blanchis. Localement un horizon grumeleux mince et sombre apparaît en plages isolées.

- Une caractéristique constante de ces sols de bas-fonds est leur texture nettement plus sableuse que celle des sols ferrallitiques des interfluves. Elle est ici sablo-argileuse. Les sables fins quartzeux sont les plus abondants.

Un appauvrissement superficiel affecte les horizons humifères. Vers 40 cm on constate une brusque diminution du taux d'argile, lequel remonte progressivement au-delà de 50-60 cm. L'horizon correspondant (40-60 cm) est blanchâtre, sablo-argileux, massif à forte porosité intersticielle. L'horizon sous-jacent est plus argileux, à structure large (polyédrique et cubique) à assemblage très net (meuble et vides importants entre agrégats), à grandes faces structurales planes et peu nombreuses. Ses agrégats, très fermes (très durs en



sec), présentent une périphérie plus claire : Il s'agit de squelet-  
tanes relativement épaisses, poreuses, friables, plus humides que le  
centre des peds. La transition entre ces 2 horizons est nette du  
point de vue de la consistance, graduelle pour la texture.

Ces caractères texturaux et cette disposition des horizons,  
associés à l'hydromorphie, sont typiques d'un gley lessivé. On voit  
là une analogie frappante avec d'autres sols à gley lessivé des zones  
sèches : L'horizon 40-60 cm serait un horizon lessivé typique, l'é-  
luviation se propageant dans le B sous-jacent à la périphérie des  
peds. Le contact net entre ces deux horizons très contrastés rappel-  
le le contact planique entre horizons E et B de certains sols lessi-  
vés du Nord (séquences sur grès de Garoua).

Mais le débit de la nappe n'a pas permis un approfondissement  
de la fosse au-delà de 90 cm. Seule donc l'organisation de la partie  
supérieure du B profond nous est accessible, et nous ne sommes pas  
en mesure de dire si à cette partie lessivée du profil correspond  
une zone d'accumulation illuviale sous-jacente, comme cela est par-  
fois le cas dans certains systèmes de sols lessivés des zones sèches.

- Ce profil est donc un polysequum de deux ensembles d'horizons :  
Un ensemble supérieur constitué d'un horizon A appauvri associé à  
un B jaunâtre réduit, juxtaposé à un ensemble comprenant un horizon  
E lessivé sus-jacent à un B compact de type planique. Mais le type  
de relation entre les 2 horizons B n'est pas défini.

La continuité avec les horizons du profil de rupture de pente  
n'est pas de même assurée. Certes on imagine que l'horizon B blanchi  
puisse être le prolongement du B blanchi profond et compact de GOY 13.  
Mais l'horizon B jaunâtre supérieur correspond-il aux horizons B  
rouge-jaunâtres et tachés de GOY 13, ou au contraire est-il le résul-  
tat d'une pédogenèse plus récente (différenciation dans un horizon E  
épais primitif par exemple). En effet il est possible, vu la topo-  
graphie de cette tête de thalweg (abrupt de bas de versant), qu'une  
incision secondaire ait entamé le bas de la séquence; ce qui expli-  
querait à la fois la position perchée de la plinthite de GOY 13 et  
la difficulté de raccorder les horizons des profils GOY 14 et 13.  
Seuls les horizons profonds des deux profils seraient en continuité,  
la différenciation de l'ensemble supérieur (cf. ci-dessus) de GOY 13  
étant de facture plus récente, postérieure à cette incision.



33 - Résumé - Conclusions - Interprétations sur l'organisation macromorphologique.

331 - Cette séquence GOY 1 est donc dans ses grands traits un cas classique de séquence de sols ferrallitiques rouges épais, à cuirasse profonde à structure lithologique conservée, à jaunissement par hydromorphie de bas de pente.

332 - Les observations effectuées ne permettent pas d'accéder à la connaissance de la genèse du matériau ferrallitique rouge ou de cette cuirasse mais rendent possible l'étude de quelques-unes des transformations du matériau meuble. Il apparaît que ces sols sont le résultat d'une ou plusieurs pédogenèses anciennes responsables de la mise en place de cet énorme manteau rouge et de l'épaisse cuirasse amont. Ce matériau rouge, apparemment figé dans son évolution primitive (laquelle présenterait malgré tout de légers gradients latéraux de différenciation), est repris en fait par des pédogenèses plus récentes, plus superficielles, à effet essentiellement soustractif en haut de pente.

333 - La première de ces évolutions actuelles semble responsable de la différenciation verticale d'une séquence de quatre grands horizons.

- . Horizons humifères plus ou moins appauvris en argile.
- . Horizon de consistance ou de condensation de matière minérale.
- . Horizons allégés, meubles, à structure microgrenue développée (micropeds).
- . Horizons progressivement plus compacts, à faible structuration apparente.

Le critère de différenciation de ces quatre types d'horizons étant essentiellement structural, il s'agit donc d'une séquence d'organisation. Les limites d'horizons ne correspondent pas à celles d'ensembles granulométriques, ou, apparemment, à des variations minéralogiques fondamentales.

- Cette structure est définie par l'association de trois éléments principaux :

- . Des agrégats polyédriques variablement nets (débit polyédrique ou structure polyédrique peu nette à nette), à arêtes

anguleuses, faces structurales planes, souvent lisses voire luisantes, de taille très fine à grossière, friables à peu friables, poreux.

- Des micropeds (structure microgrenue, aliatique, pseudoparticulaire), de taille millimétrique, subanguleux, voire arrondis, friables, dont l'assemblage lâche définit une forte porosité intersticielle.
- Des "noyaux argileux", souvent centimétriques, à pâte dense, de forme polyédrique subanguleuse, aux limites variablement nettes, peu à non friables.

- A l'homogénéité apparente des profils à petite échelle, les divers modes d'association de ces trois éléments structuraux superpose donc une hétérogénéité souvent discrète des horizons.

Elle se traduit par :

- Des nuances de teinte : Micropeds souvent plus clairs et "noyaux argileux" fréquemment plus sombres que la matrice à structure polyédrique.
- Des variations de la porosité : Agrégats polyédriques poreux, assemblage très poreux des micropeds, faible porosité des noyaux argileux.
- Des inégalités de consistance : Agrégats polyédriques souvent peu friables, micropeds friables, noyaux argileux peu à non friables.

Ainsi, et par exemple :

- La structure polyédrique est la mieux définie dans les horizons de consistance et à la partie supérieure des B compacts profonds.
- Les micropeds sont les plus abondants et les noyaux argileux les mieux définis dans les horizons allégés.

- Mais le contraste et le développement de ces 4 grands horizons définis par l'association de ces 3 principaux éléments structuraux varie de l'amont à l'aval de la séquence topographique :

- La séquence verticale des horizons définis ci-dessus paraît la plus contrastée en haut de pente. L'apparition simultanée d'un jaunissement de la partie supérieure des profils nous amène à penser qu'il peut exister une corrélation entre les

trois données macroscopiques "évolutive" : Jaunissement - appauvrissement - organisation structurale.

. Au contraire cette séquence est peu contrastée dans les sols rouges de mi-pente : Au développement de la couleur rouge correspond l'extension des horizons B épais, plus "massifs", cohérents et consistants, à noyaux argileux abondants et contigus. Ce type d'organisation est le plus fréquent dans les sols ferrallitiques rouges profonds du Centre-Cameroun.

. Les sols plus jaunes et hydromorphes de bas de pente, présentent pour leur part un net contraste entre la phase microgrenue et les deux autres éléments structuraux, lesquels sont à la fois largement dominants et nettement individualisés. Les sols correspondants sont simultanément meubles et denses.

- Il semble possible, dans certains profils, d'accéder à la connaissance du mode de filiation entre ces types structuraux : Le passage progressif des horizons rouges "compacts" profonds aux horizons allégés sus-jacents, les gradients de concentration et les dispositions relatives des micropeds et des "noyaux argileux" (GOY 11 en particulier), les similitudes de forme entre certains noyaux polyédriques isolés et les agrégats polyédriques des structures continues (GOY 14 notamment)... suggèrent une chaîne évolutive du type : Horizon rouge → noyaux argileux + micropeds → micropeds. Les micropeds semblent donc être le résultat de la dégradation (ou transformation) d'horizons rouges compacts, dont les noyaux argileux seraient les reliques. Cette dégradation concernerait aussi bien la partie supérieure d'un horizon sous-jacent à l'horizon microstructuré, que la partie inférieure d'un horizon compact sus-jacent (cas d'horizons microstructurés encaissés - voir plus loin).

- La simultanée du développement de la couleur rouge sombre (10 R 3/6) et de l'extension des horizons B massifs, compacts, à noyaux argileux abondants, ou celle du jaunissement relatif de la partie supérieure des profils et de la microgramulation, pourraient traduire de légères variations géochimiques accompagnant ces transformations structurales.

- On note aussi la grande fermeté et la coloration parfois rouge plus sombre de certains noyaux argileux isolés dans des horizons à structure microgrenue développée. Faut-il voir là une con-

densation de matière (par transfert ?) simultanée à la dégradation des B rouges compacts . On ne peut s'empêcher d'établir un rapprochement entre ces phénomènes de dégradation et le démantèlement d'une cuirasse en fragments décimétriques transformés en "nodules" arrondis. Mais ce phénomène rappellerait aussi celui des concentrations ferrugineuses nodulaires, avec décoloration du plasma, dans les sols à gley. La différence fondamentale est que ces transformations qui affectent le plasma se font ici en milieu <sup>bien</sup>/drainé.

- La séquence verticale des horizons évoquée ci-dessus se met en place indépendamment de la présence à faible profondeur d'une cuirasse continue (GOY 12) ou d'horizons de concentration d'éléments ferrugineux grossiers (GOY 15-17). On observe, tout au plus et notamment, de faibles variations des caractéristiques structurales. Ces éléments ferruginisés reliques ne participent donc pas à cette pédogenèse superficielle (du moins au niveau de ses différenciations principales).

334- L'appauvrissement en argile est une des expressions de cette différenciation superficielle responsable de la mise en place de cette séquence verticale des horizons. Il revêt deux formes :

. Un appauvrissement pondéral et volumique superficiel : Cas classique d'appauvrissement abordé lors d'études précédentes (JP. MULLER 1970, 1972). Il s'exprime notamment par un gradient vertical du taux d'argile pondéral, significatif d'une perte réelle en argile. Limité dans son extension, on ne lui attribue pas ici de modifications structurales fondamentales, à l'exception toutefois d'une association de grumeaux organiques et de grains de sable déliés blanchis. Des noyaux denses plus argileux et plus rouges témoignent de l'approfondissement de l'horizon humifère appauvri aux dépens du B sous-jacent. L'accumulation organique et l'action de la faune accentuent l'expression volumique de cet appauvrissement. Fait essentiel, ce type d'appauvrissement ne se développe réellement que dans des horizons préalablement "éclaircis" ou jaunâtres (du moins dans cette région). Ainsi il n'est vraiment net qu'en GOY 11 et 13, profils à horizons supérieurs brun-jaunes. Il est par contre caractéristique de l'ensemble des séquences de sols jaunes de la région (GOY 3, JP. MULLER 1974). Cet horizon appauvri est

donc une structure éluviale.

. Un appauvrissement "volumique" profond qui se manifeste dans les horizons à structure microgrenue et tout particulièrement dans l'horizon allégé de la séquence verticale décrite plus haut. Il ne lui correspond apparemment aucune perte réelle et significative en argile (après destruction par exemple des agrégats résistants à la dispersion)\*. Son expression est structurale : Individualisation de micropeds avec accroissement corrélatif de la porosité intersticielle. Il pourrait s'agir ici d'une fragmentation du matériau pédologique à la suite de mouvements de faible amplitude affectant le fond matriciel. Un nouvel arrangement plasmique doit lui correspondre avec migration possible et localisée de matière sur de très faibles distances. Il s'agirait donc ici d'une simple réorganisation.

La séquence verticale des horizons serait ainsi la somme de deux séquences d'appauvrissement : Appauvrissement "pondéral" à expression texturale, sus-jacent à un appauvrissement "volumique" d'expression structurale.

- Si l'horizon "allégé", troisième horizon de la séquence verticale et immédiatement sous-jacent au B de consistance (cf. ci-dessous), est le plus caractéristique de cet "appauvrissement volumique", d'autres horizons ou poches centimétriques assez fortement microstructurées peuvent apparaître au sein des grands horizons profonds dits compacts. En outre ces horizons allégés peuvent voir leurs caractéristiques exacerbées au contact d'un accident morphologique tel qu'une formation indurée (GOY 12 ou 15) : Accroissement de la porosité directement au-dessus d'un niveau peu poreux et cohérent. En fait tout se passe comme si un grand horizon "allégé" était constitué de niveaux plus réduits, continus ou discontinus, alternativement (plus) denses et (plus) légers. Cette succession verticale des horizons microstructurés allégés rappelle les polyséqua à horizons E caractéristiques de nombreuses séquences de sols lessivés des zones tropicales sèches.

- Les horizons compacts qui alternent avec ces divers horizons appauvris, et dont l'horizon de consistance constant à la partie supéri-

---

\* Nous devons cependant temporiser cette affirmation. Si par exemple l'argile étant détruite, les hydroxydes déshydratés... la finesse texturale pourrait fort bien se maintenir en dépit d'un fort départ de matière à la suite d'un fractionnement des particules en microparticules inférieurs à  $2\mu$ . Cette hypothèse devait donc être étayée par une analyse minéralogique par fraction texturale.

eure des profils est le représentant type, présentent de légères variations de haut en bas des profils et de l'amont à l'aval des séquences. Il ne semble pas en particulier que les horizons compacts superficiels, dont l'horizon de consistance, soient des témoins stables des horizons B denses supposés être à l'origine des horizons appauvris. On constate notamment des gradients de couleur et de structuration (GOY 17). On a en effet l'impression qu'à une séquence verticale continue d'horizons rouges "massifs" (= polyédrique peu net, cohérent...), présentant son propre gradient vertical de différenciation, s'est surimposé une séquence discontinue d'horizons "allégés" microstructurés (ou plus généralement appauvris si l'on inclut l'horizon humifère).

Cela suppose donc deux évolutions divergentes d'un même matériau rouge et dense de départ : D'une part une dégradation par fragmentation avec formation d'horizons microstructurés, d'autre part une destruction de la structure polyédrique ou une condensation de matière avec formation d'horizons de consistance, cohérents, d'aspect massif. Une autre filiation envisageable est le passage de l'horizon microstructuré principal à l'horizon de consistance par destruction des micropeds avec transformation en un fond matriciel continu et dense. Cette explication ne serait apparemment satisfaisante que dans le cas des sols à jaunissement superficiel.

- La faune semble jouer un rôle important dans le développement de la microstructure comme en témoignent les abondants pédotubules remplis de micropeds ou les micropeds multicolores de GOY 14 dont une origine autre que faunique nous semble douteuse. Mais il est fortement improbable que cette activité biologique, même intense, explique seule le développement de ces horizons microstructurés. Cette microstructuration par la faune serait relativement la plus décisive dans le profil de bas de pente (GOY 14); ce qui expliquerait la nette opposition entre micropeds d'une part et agrégats polyédriques et noyaux argileux d'autre part, sans qu'apparaissent semble-t-il de zones intermédiaires d'ébauches.

- Enfin on constate que l'appauvrissement en argile des horizons supérieurs est le plus prononcé et que l'horizon de consistance est le plus nettement individualisé dans les profils au "jaunissement" supérieur le plus marqué (GOY 11 et 14). Mais il ne semble pas que la localisation et le développement (épaisseur du profil concerné)

de ces deux caractères soient strictement liés : L'horizon de consistance est une constante de tous les profils de la séquence alors que l'appauvrissement superficiel n'est net que dans les profils de haut et de bas de pente.

335 - L'hydromorphie est avec l'arrangement structural une caractéristique essentielle des profils de bas de pente (à défaut d'avoir atteint la partie inférieure des profils de l'amont).

- Les premières manifestations de cette hydromorphie sont des taches isolées, rouges affectant des noyaux argileux denses. Ces taches étant d'autant plus nombreuses que les noyaux argileux sont abondants, elles s'anastomosent dans les horizons profonds massifs de GOY 17 et 18 ou les horizons à coalescence de noyaux argileux de GOY 14. Elles n'apparaissent pas au niveau des volumes microstructurés. Le développement des caractères d'hydromorphie et celui d'une structure microgrenue s'excluent donc : L'hydromorphie ne marque que les matériaux denses et relativement peu poreux, en formations continues (horizons compacts) ou discontinues (noyaux argileux).

On voit là la possibilité d'une nodulation, ou accumulation ferrugineuse discontinue, par induration de taches isolées affectant des noyaux fermes. Ce phénomène est probablement très général : Il n'y aurait pas de ferritisation continue vraie sauf de type outanique.

Il existe cependant en GOY 14 des micropeds variablement teintés dans des horizons à hydromorphie marquée. Leur disposition par rapport au matériau compact et taché nous amène à penser que leur formation est postérieure à l'apparition des caractères hydromorphes (remaniement par la faune cf. ci-dessus).

- La première expression de cette hydromorphie est donc l'apparition d'une décoloration (auréoles jaunâtres) du matériau liée aux parois des vides tubulaires et aux faces structurales. Elle se manifeste d'autant plus proche de la surface que le profil est en position plus aval (430 cm en GOY 17, 90 cm en GOY 14). Plus en profondeur les taches jaunes se développent aux dépens des taches rouges qui deviennent légèrement plus cohérentes. Au-delà la matrice blanchit, les taches jaunes et rouges diminuant en nombre et taille, les taches jaunes regressant plus rapidement que les rouges, lesquelles s'indurent



tout en prenant une forme nodulaire subarrondie aux limites nettes. Puis les taches jaunes se raréfient, les taches rouges devenant plus claires et cohérentes, les premières paraissant alors résulter de la dégradation des secondes. Dans l'horizon sus-jacent à la nappe seules subsistent quelques taches rouges et des taches brun-jaune légèrement plus cohérentes que la matrice.

Cette phase de nodulation rouge atteindrait son maximum de différenciation au toit de la frange capillaire. Son apparition et sa disparition progressive en milieu trop engorgé, sa compatibilité avec les caractéristiques physiques et hydriques des profils, la continuité des "nodules" avec la matrice, témoignent en faveur de son actualité (ou du moins sa relative jeunesse).

- Deux phases "actuelles" de nodulation semblent se développer simultanément dans deux niveaux superposés du profils de bas de pente.

- Cette nodulation ferrugineuse est la plus prononcée dans des fragments résiduels de micaschiste (GOY 17) : Les fragments de roche altérée, à texture plus sableuse que le matériau pédologique, constitueraient donc des structures d'accueil privilégiées pour les hydroxydes de fer.

Les fragments d'altérite ferruginisée située dans la zone de battement de nappe présentent un cortex dur et sombre et une masse relativement friable. A la diffusion centripète des hydroxydes caractéristique de la nodulation ferrugineuses du sommet de la frange capillaire semble donc succéder une diffusion centrifuge dans la nappe.

- La présence, au sein des poches d'altérite des profils de bas de pente, de volumes blanchâtres, très humides, de texture limono-argileuse, à porosité réduite, d'aspect microcristallin, est significatif d'une accumulation argileuse de bas de pente localisée au toit de la nappe. Ce phénomène a déjà été observé dans d'autres séquences (JP. MULLER 1974) : L'altérite, milieu éluvial, ferait fonction de structure d'accueil pour une accumulation secondaire et discontinue de kaolinite de néoformation.

D'autre part les rares revêtements argileux brun-rougeâtres visibles sur des parois de vides se situent aussi au toit de la nappe de bas de pente.

La nappe de bas de pente provoquerait donc à la fois une illu-  
viation d'argile et de fer et une néoformation de kaolinite par ralen-  
tissement de la circulation des solutions dans la frange capillaire,  
milieu saisonnièrement confiné.

- Un jaunissement d'ensemble du profil GOY 14 est lié au processus d'hydromorphie de bas de pente. La structure du matériau de ce profil est aussi la plus grossière de la séquence et les micropeds y sont les moins abondants. Au développement de l'hydromorphie correspondrait donc une plus faible maturation structurale.

Les horizons blancs apparaissent à faible profondeur en GOY 14 : Cette forte décoloration de bas de pente, apparemment incompatible avec la profondeur de la nappe et la position topographique pourrait malgré tout concorder avec les conditions hydriques actuelles.

- La présence de reliques ferruginisées (cf. ci-dessous) dans la zone d'engorgement de bas de pente pose le problème d'une hydromorphie remontante postérieure à cette phase d'induration ancienne. L'épais niveau blanchi aval pourrait alors correspondre à un "bouchon kaolinique" qui apparaîtrait ici comme la conséquence de la nappe.

336 - La présence d'accumulations ferrugineuses reliques est une autre caractéristique de cette séquence de sols rouges : Leur critère de différenciation est l'absence de continuité avec la matrice argileuse meuble emballante. Ces reliques ne semblent pas participer aux pédogenèses actuelles : Leur comportement est celui d'éléments grossiers inertes. Leur présence (relative rareté)<sup>ne</sup> perturbe que faiblement l'organisation générale de la séquence des horizons meubles telle qu'elle a été décrite ci-dessus.

- Ces accumulations ferrugineuses sont continues (cuirasse vermiculée à structure lithologique conservée) et discontinues (horizons nodulaires sus ou sous-jacents à cette cuirasse) en haut de pente. Elles sont exclusivement discontinues à l'aval : nodules épars en différents niveaux des profils.

- Le nombre des profils examinés ne permet pas d'accéder à la connaissance exacte de la géométrie de ces formations.

Cependant :

- . Elles apparaissent plus proches de la surface à l'aval qu'à l'amont.
- . Elles forment à l'aval plusieurs niveaux superposés séparés les uns des autres.

Ce dernier fait pose le problème de la continuité originelle de ces niveaux entre eux et avec la cuirasse vermiculée amont. S'agit-il de produits d'un démantèlement très poussé de cette cuirasse à l'aval ou de phases de nodulation différentes, voire postérieures ? Cette dernière hypothèse est avancée à propos du profil de bas de pente dans lequel la discontinuité apparente entre 3 niveaux de concentration de reliques suggère la succession de plusieurs cycles d'induration (ou d'hydromorphie) analogues à ceux qualifiés d'actuels (cf. ci-dessus). L'absence de structure lithologique apparente dans certains de ces nodules renforcerait cette hypothèse.

- La forte induration de ces accumulations ferrugineuses, l'épaisseur de la cuirasse amont, la présence de cuticules ferrugineuses épaisses sur les parois des vides qui la parcourent, l'éparpillement des nodules sur de grandes épaisseurs à l'aval, sont autant d'éléments signifiant que la (ou les) pédogenèse ancienne était fortement ferruginisante. Actuellement, au contraire, l'induration ferrugineuse discontinue semble être limitée à la base des profils de bas de pente, dans la zone de battement de nappe. Les phénomènes de dégradation l'emportent donc actuellement sur ceux d'accumulation.

- Le problème des relations entre argile rouge meuble et reliques ferruginisées est posé. Certes on ne constate pas de visu de relations génétiques entre ces deux matériaux, mais il est troublant de constater la présence fréquente de petits nodules ("plombs de chasse") dans les horizons rouges. Ils apparaissent souvent et précisément à la partie supérieure des grands ensembles d'horizons rouges compacts.

Mais si un tel lien génétique peut être envisagé, il semble par contre que l'organisation générale de la séquence verticale des horizons meubles différenciés à partir de ces B rouges et la présence d'un horizon de concentration d'éléments ferrugineux grossiers paraissent deux caractéristiques indépendantes.

- La dégradation de la cuirasse en fragments ou "nodules", comme celle des horizons rouges "massifs" en micropeds, se ferait en milieu bien drainé à l'amont. Les nodules de bas de pente sont par contre inclus dans des horizons variablement marqués par l'hydromorphie. Un problème important est de savoir si cette hydromorphie est postérieure à la dégradation des formations indurées ou si elle est responsable de cette dégradation. Y a-t-il eu, en particulier, une phase transitoire rouge secondairement transformée en matériau jaunâtre, entre autre par départ de fer ? Quoiqu'il en soit les produits sont de nature différente en haut et en bas de pente.

- On observe donc dans cette séquence une triple généalogie des volumes denses. Il s'agit :

- . De nodules ferrugineux résiduels se comportant apparemment comme des éléments grossiers.
- . Des nodules actuels ou tout au moins en continuité avec la matrice argileuse.
- . Des noyaux argileux fermes, reliques apparentes d'horizons B massifs.

- Le comportement des horizons nodulaires varie en fonction de leur concentration en éléments grossiers mais aussi suivant leur position dans le profil. On constate généralement un léger accroissement de porosité à leur niveau et tout particulièrement quand ils surmontent directement la cuirasse : Il s'agit alors de structures éluviales issues d'une dégradation structurale (et/ou géochimique ?). L'horizon nodulaire de COY 15 fait cependant exception : Les nodules observés sont fortement cimentés dans une argile rouge et dense. Dans ce dernier cas l'horizon nodulaire serait, dans sa présentation actuelle, le résultat de la succession d'un cycle de dégradation (formation des nodules) et d'un cycle d'accumulation suivie d'induration (cimentation des nodules par une argile ferritisée dense) : L'horizon nodulaire à caractère éluvial sert de structure d'accueil à des argiles denses (illuviales ?). Peu poreux il permet en outre le développement d'une hydromorphie discrète. Le déterminisme de cette induration secondaire nous est inconnu : S'agit-il par exemple d'une accumulation dans un ensellement de la cuirasse identique à celles observées sur certaines coupes du Transcamerounais (G. BOCQUIER, JP. MULLER 1973-74)

337 - Le développement des horizons humifères et de pénétration humique est réduit en regard de l'épaisseur des profils. Les premiers n'ont guère plus de 15 cm, la structure grumeleuse se limitant aux 3-4 premiers centimètres, les seconds dépassant rarement 50 cm. Ces horizons d'accumulation organique se rangent parmi ceux définis dans une étude détaillée des appumites ferrallitiques réalisée au Gabon (J.P. MULLER, 1974).

Une loi fondamentale éclaire les variations enregistrées le long de la toposéquence : Les horizons d'accumulation de matière organique sont d'autant plus épais et contrastés que la partie supérieure des profils est jaune et appauvrie en argile. Ainsi ces horizons sont-ils les plus différenciés en GOY 11 (haut de pente) et GOY 14 (bas de pente). Dans ces profils, l'horizon humifère relativement épais, sombre, très poreux, dans lequel sont associés des agrégats grumeleux ou polyédriques subanguleux et des quartz déliés blanchis, s'oppose nettement à un horizon de pénétration humique hétérogène (sous forme de taches ou traînées préférentiellement localisées sur les faces des unités structurales), à structure polyédrique, compact. Dans les sols rouges de mi-pente (GOY 15 et 17), les horizons humifères et de pénétration humique sont au contraire très réduits et peu contrastés. Ils acquièrent rapidement les caractéristiques (notamment structurales) des B sous-jacents. Les horizons rouges remontant très haut dans ces profils, limitent donc l'emprise de la faune et de la matière organique sur la différenciation morphologique, tant dans son ampleur que dans son intensité\*.

338 - L'altérite n'est atteinte que dans un seul profil de cette séquence (GOY 17), l'objet primitif de cette étude étant les transformations subies par le matériau argileux rouge. On constate :

- . Qu'elle apparaît d'abord discontinue sous formes de poches ou fragments à schistosité variablement reconnaissable, aux limites relativement nettes. La seule continuité apparente avec le matériau pédologique différencié semble être assurée par le fer redistribué par l'hydromorphie, les deux phases argileuse rouge et altéritique paraissant plutôt juxtaposées qu'associées. Ce type de passage brutal est aussi commun qu'é-

\* Il existe d'autres exemples de la "résistance" des B rouges à la formation d'horizons A - cf. zones anciennement érodées.

nigmatique dans ces sols ferrallitiques rouges.

. La partie supérieure de cette altérite comporte d'assez nombreux éléments ferruginisés, apparemment les moins altérés, à gradient d'induration décroissant vers le bas. Cette ferruginisation soustrait des fragments d'altérite à une altération poussée. Ces éléments constitueraient des structures d'accueil préférentielles pour les hydroxydes de fer, les argiles de néoformation blanches (kaolinite) ou illuviales, dans la zone de battement de nappe.

- Le sol hydromorphe de bas-fond soulève des problèmes particuliers :

. Contrairement à ce que l'on observe dans les sols rouges de l'interfluve, aux principales variations de teinte et de structure correspondent des ensembles granulométriques distincts.

. Si l'on note dans les sols rouges une succession verticale d'horizons "appauvris" différenciés au niveau de l'organisation structurale (structure microgrenue), les contrastes entre horizons sont relativement faibles. Ce profil de bas-fond est par contre composé de deux ensembles d'horizons E-B superposés fortement différenciés.

. La morphologie originale de l'ensemble inférieur n'est pas sans rappeler celle de certains sols lessivés à gley des zones sèches : On note en effet un contraste morphologique marqué et un contact brutal (type planique) entre un horizon lessivé blanchi, massif et très poreux, et un horizon B "néo-éluvié" à structure large, à agrégats fermes à squelettanes périphériques. Ces caractères sont associés à des conditions d'engorgement prolongé.

2ème partie : Quelques caractéristiques physiques  
et hydriques - par F.X. HUMBEL



#### 4. QUELQUES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET HYDRIQUES.

Seuls les profils de haut de pente (GOY 11), mi-pente (GOY 12), rupture de pente (GOY 13) et de bas-fond (GOY 14) ont été étudiés. Les mesures physiques et hydriques n'ont pas été effectuées dans les horizons cuirassés. C'est pourquoi les profils GOY 11 et 12 ne sont respectivement caractérisés que dans les 6 et 2 mètres supérieurs meubles.

##### 41 - DENSITES APPARENTES.

###### 41.1 - Mesurées in situ avec un densitomètre à membrane :

Les résultats obtenus sur les profils de la séquence sont présentés dans des graphiques (figures 11, 12 et 13) où la profondeur figure en ordonnée négative et les densités apparentes en sec,  $d_s$ , et en humide,  $d_h$ , en abscisse. La différence  $d_h - d_s$  représente l'humidité volumique,  $h_v$ , au moment de la mesure. La courbe de variation verticale de  $h_v$  a été tracée à droite des précédentes, ainsi que celle de l'humidité pondérale  $h_p$  :

$$h_v = d_h - d_s = h_p \times d_s, \text{ avec } h_v > h_p \text{ lorsque } d_s > 1$$

La saison de mesure a été indiquée aussi car lorsque l'humidité d'un horizon augmente,  $d_h$  croît proportionnellement tandis que  $d_s$  reste constant, ou décroît s'il y a gonflement.

Les mesures ont été effectuées sur des cavités de 500 cm<sup>3</sup> environ superposées deux par deux (à partir d'une même position de la plaque de base du densitomètre). Or on constate que la cavité inférieure fournit une densité apparente systématiquement plus élevée. Cette anomalie paraît être due à ce que le volume étudié n'est pas contenu dans un cadre rigide et qu'ainsi la terre humide, libérée des contraintes subies in situ, augmente de volume.

Les courbes de densité obtenues font apparaître les couches suivantes:

GOY 11

- 0 - 5 cm - Légère,  $ds = 0,9$  correspondant à l'horizon humifère A1.
- 15 - 60 cm - Dense,  $ds \geq 1,3$  (convexité dissymétrique de la courbe).
- 90 - 280 cm - Légère  $ds = 1,1$  (concavité).
- 300 - 600 cm - Densité croissant jusqu'à 1,3.
- 600 cm - Cuirasse dense.

GOY 12

- 0 - 8 cm - Légère,  $ds = 0,85$  (A1).
- 10 - 70 cm - Dense,  $ds = 1,2$  (convexité).
- 80 - 160 cm - Légère,  $ds = 1,1$  (concavité).
- 170 cm - Cuirasse,  $ds = 1,85$ .

GOY 13

- 0 - 8 cm - Légère,  $ds = 0,95$  (horizon A1).
- 10 - 30 cm - Dense,  $ds = 1,22$  (convexité).
- 30 - 140 cm - Légère,  $ds = 1,15$  (concavité).
- 160 - 530 cm - Densité faiblement croissante et irrégulière, avec un pic de 1,7 dans un horizon enrichi en graviers à 3,8 m de profondeur, suivi d'un minimum relatif.

GOY 14

- 0 - 50 cm - Densité croissant de 1,1 à 1,5 (horizon A1 et Bg).
- 70 - 80 cm - Maximum à 1,9 dans un gley argileux.
- 100 cm - Densité 1,7, sous la nappe permanente.

COMMENTAIRE.

Les profils GOY 11, 12 et 13 présentent à leur partie supérieure les mêmes trois couches superposées qui sont de haut en bas :

- Une couche légère et à forte hétérogénéité densitométrique; elle correspond à l'horizon humifère A1 dont les caractères en liaison avec cette légèreté sont : présence de matière organique et de radicelles, porosité biologique et de structure fragmentaire.
- Une couche dense, épaisse de 20 à 60 cm, où la densité croît rapidement puis décroît lentement (convexité dissymétrique); elle correspond à l'horizon dit de consistance ou de cohésion dont la structure est mal exprimée et où la porosité structurale et biologique est faible.

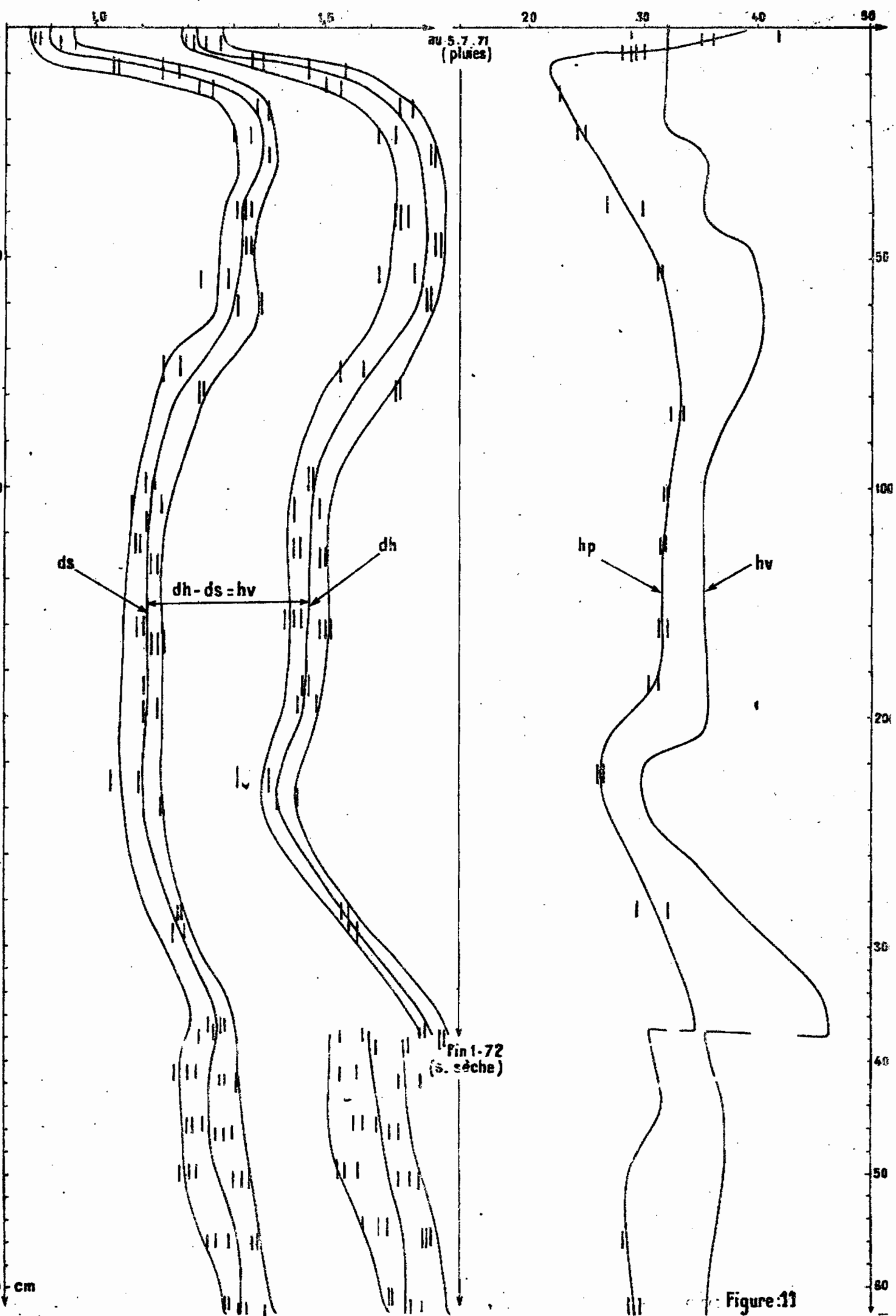


Figure 11

densités apparentes en sec et en humide

GOY 12

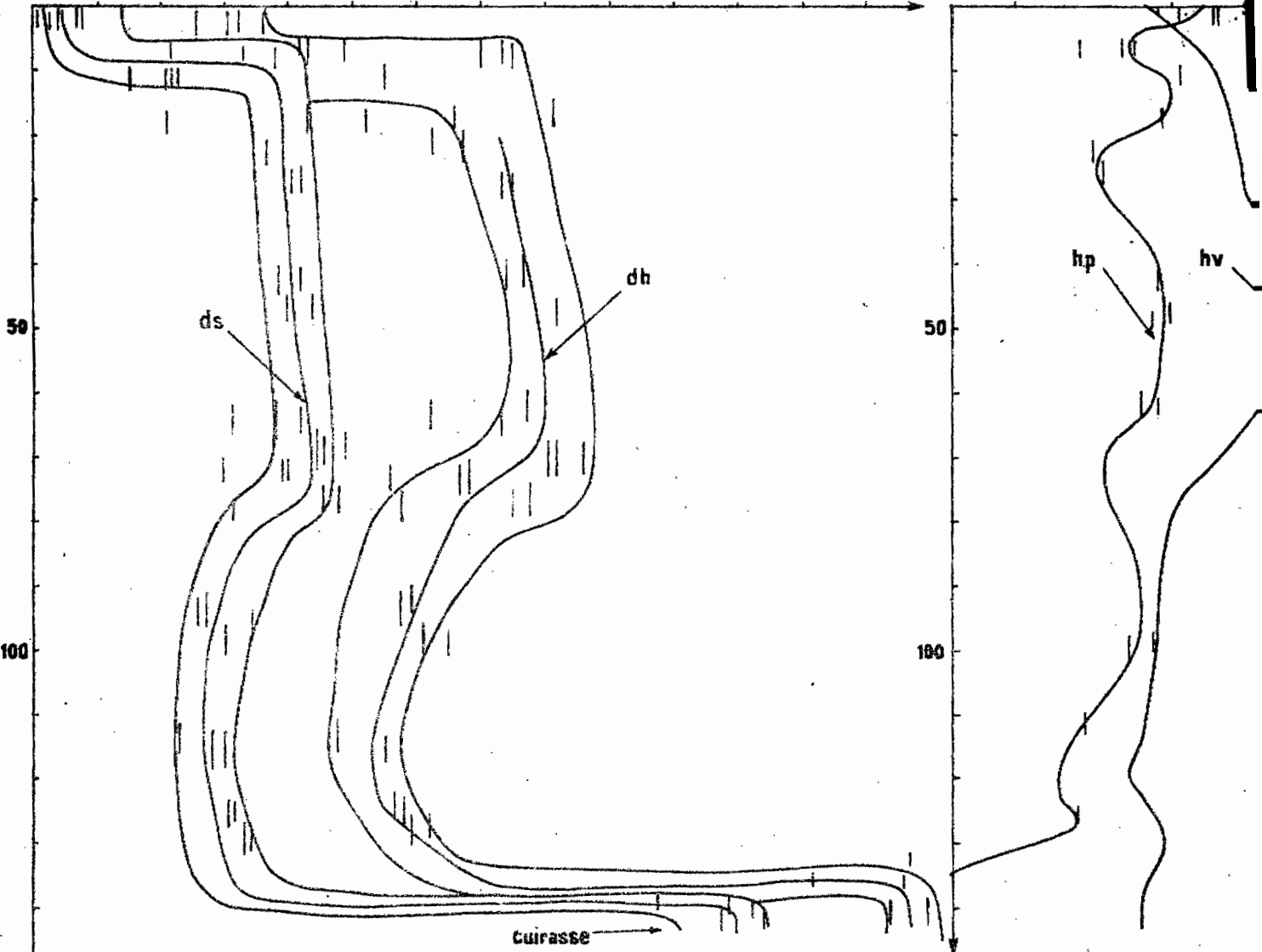
humidités pondérales et volumiques

1,0

1,5

20

30 %



2000 cm de profondeur

GOY 14

1,0

1,5

20

30 %

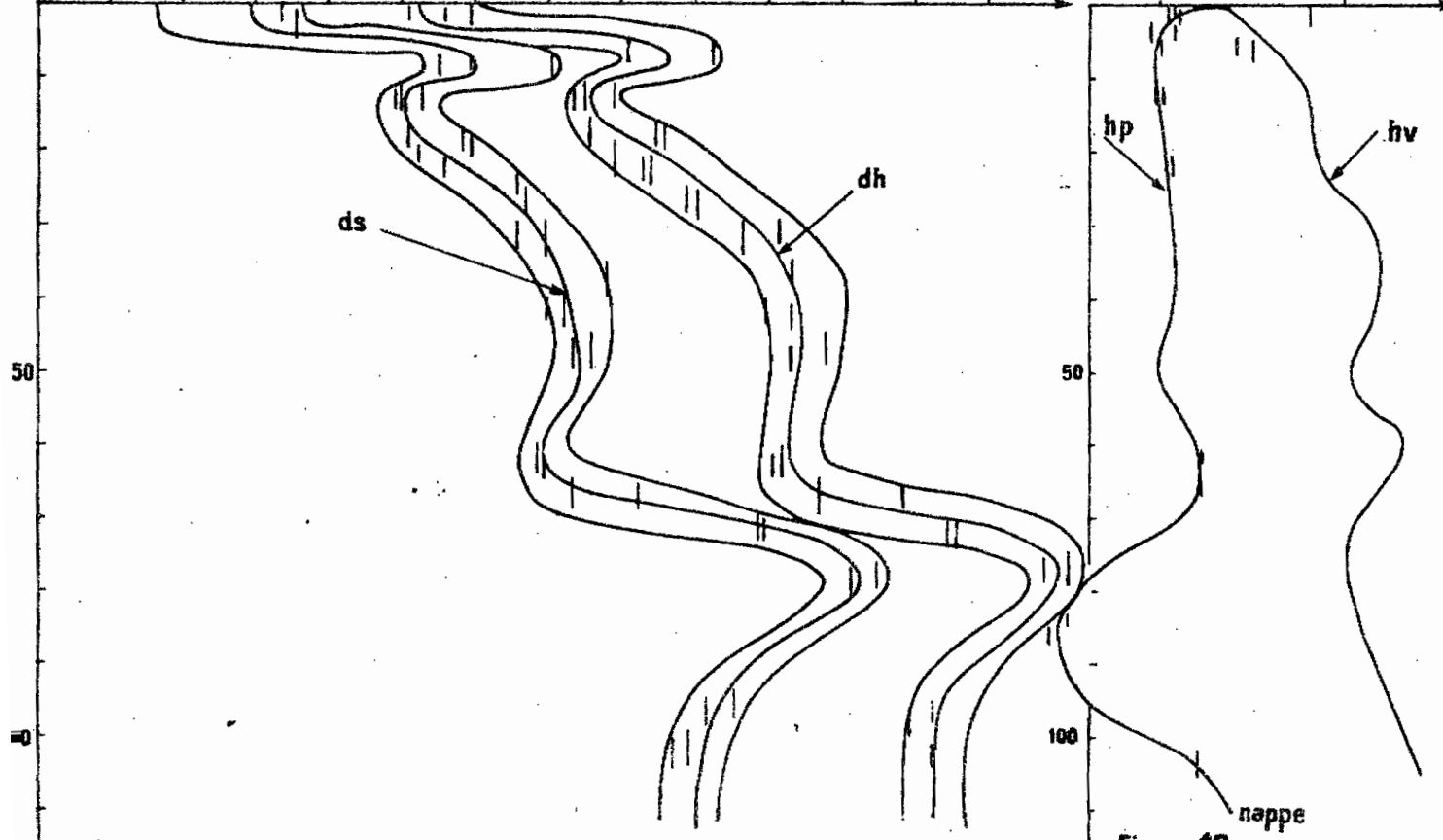


Figure 12

densités apparentes

60Y 13

humidités pondérales et volumiques

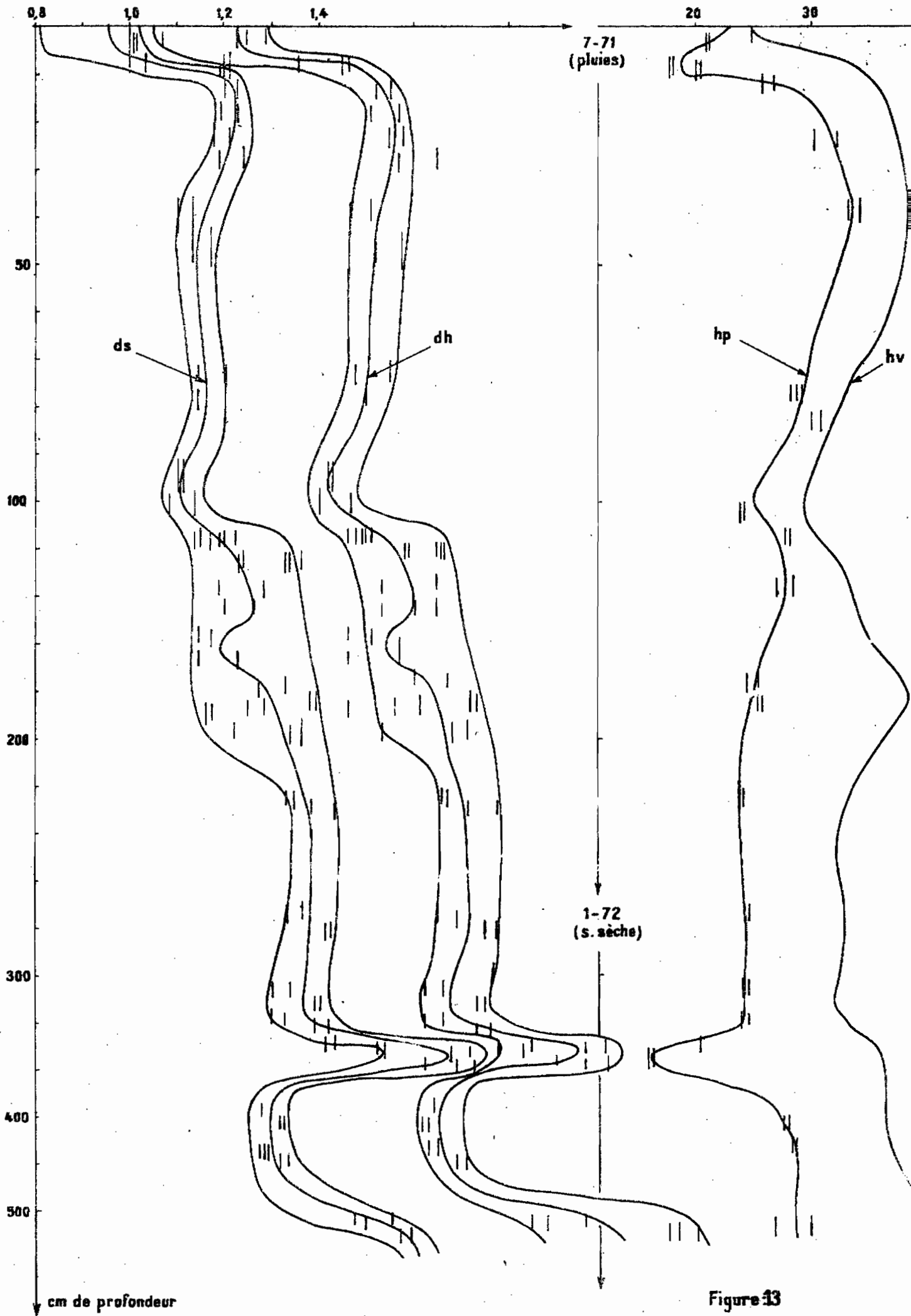


Figure 13

- Une couche légère, épaisse de 100 à 200 cm (faible concavité de la courbe) qui correspond à la partie des horizons B rouges où la porosité est élevée et où la ~~friabilité~~ est grande par suite d'une agrégation partielle de la matière argileuse en "micropeds".

Ces trois couches identifiables sur le terrain (cf. organisation macromorphologique) seront assimilées à des horizons pédologiques et désignées respectivement par les symboles Ho, Hc et Ha (organique, compact et allégé).

Dans le bas-fond la densité apparente du sol croît de haut en bas et atteint dans le gley des valeurs bien plus élevées (1,9) que dans les horizons meubles de l'interfluve.

#### 41.2 - Comparaison avec d'autres mesures de densité apparente.

La densité apparente  $d_m$  de mottes d'environ 10 cm<sup>3</sup> enrobées d'une pellicule\* isolante a été mesurée par pesée et poussée d'archimède. Les mottes utilisées avaient été préalablement séchées à l'étuve à 105° et se trouvaient ainsi à leur maximum de densité apparente. La densité apparente  $d_p$  de disques obtenus par dessèchement\*\* d'une pâte de sol amenée initialement à la limite de liquidité a été également mesurée.

Les résultats obtenus par ces deux méthodes sont portés sur les figures 14 et 15 et comparés à la densité en sec in situ obtenue au densitomètre. On constate que  $d_m$  est toujours supérieur à  $d_s$  et que la différence  $d_m - d_s$  décroît de haut en bas, mais sans s'annuler en GOY 11 et GOY 12. La densité  $d_p$  est peu différente de  $d_m$  dans les horizons A1 et Hc puis lui est nettement supérieure jusqu'à 2 ou 3 m de profondeur. L'interprétation de ces résultats est délicate car plusieurs facteurs peuvent se combiner :

- 1 l'échelle de l'échantillon relativement à la répartition des pores :  $d_m$  est mesuré sur des volumes inférieurs à ceux de  $d_s$  et exclut de ce fait les grandes cavités fauniques.

---

\* Polystyrène expansé en solution dans l'acétone.

\*\* Cette densité est le "rapport de retrait" des mesures de limite de retrait (voir chap. 4.7).

- 2 le retrait qui s'est produit par dessiccation totale des mottes ou de la pâte tandis que ds caractérise le sol à une humidité h très supérieure.
- 3 la détente résultant de la suppression des contraintes subies dans le sol en place. Elle intervient logiquement plus fortement lors du morcellement en mottes que par manipulation au densitomètre.
- 4 l'organisation différente du sol non remanié et du disque obtenu après fluidification de sa matière.

En première approximation on peut considérer que :

GOY 11 : Dans l'horizon A1 le facteur prépondérant est la différence d'échelle entre mottes et échantillon global. Dans ce milieu aéré, organique et non ~~comprimé~~ la densité et le retrait sont vraisemblablement faibles en effet.

Dans l'horizon Hc la diminution de la macroporosité atténue l'effet d'échelle mais le retrait à la dessiccation et la détente par morcellement doivent être importants du fait de la massivité de la structure.

Dans l'horizon Ha fortement microstructuré les différences d'échelle redeviennent importantes. La détente pourrait être faible, le milieu étant très serré, mais le gonflement pourrait par contre intervenir car il y a peu de matière organique. C'est à ce niveau que les différences d'organisation entre la pâte desséchée et le sol non remanié sont maximales.

En profondeur les différences s'atténuent progressivement ainsi que probablement celles de l'organisation mais détente et retrait sont importants du fait de la faible structuration et de la pression pédo-statique élevée.

Cette interprétation est schématisée à droite de la figure 14. En GOY 12 l'interprétation est analogue ainsi qu'en GOY 13. En GOY 14 il semble que le retrait, et dans une moindre mesure la détente doivent être privilégiés.

#### 42 - DENSITE REELLE, COMPACITE-POROSITE, PRESSION.

##### Densité réelle D.

La densité réelle, (figures 17, 18 et 19) ou densité de solides, a été mesurée au pycnomètre à eau sur un échantillon moyen tamisé à 0,2 mm et séché à l'étuve à 105°. Elle varie peu autour de 2,7 mais elle est légèrement plus élevée en sommet d'in-



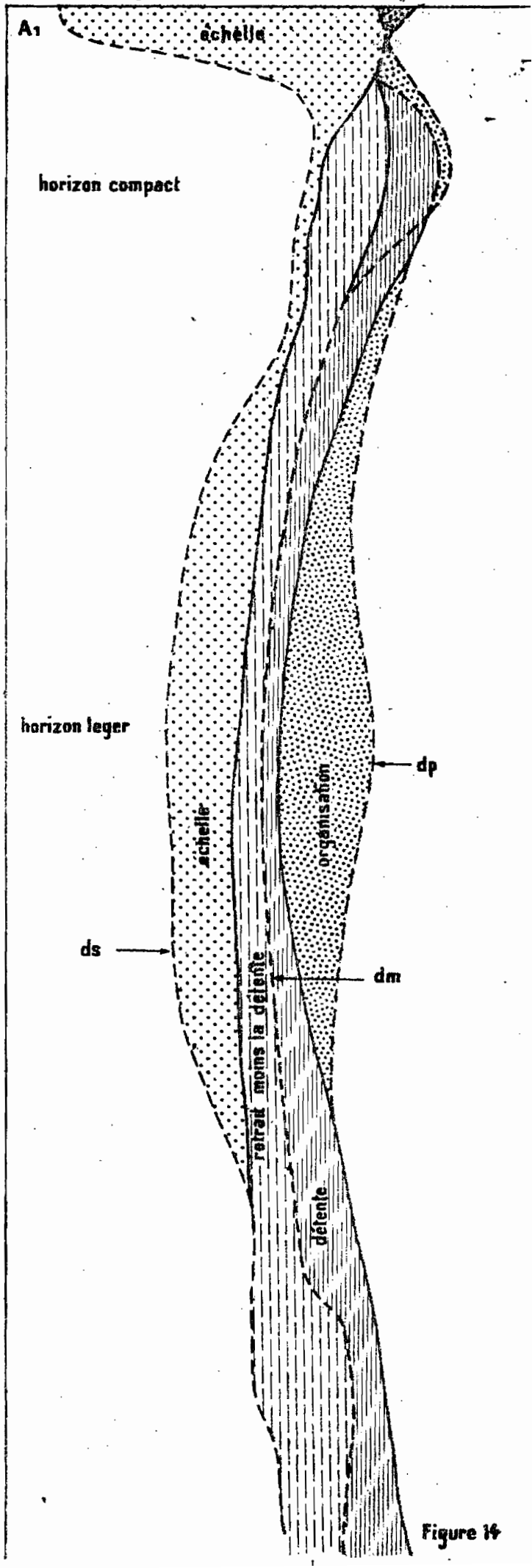
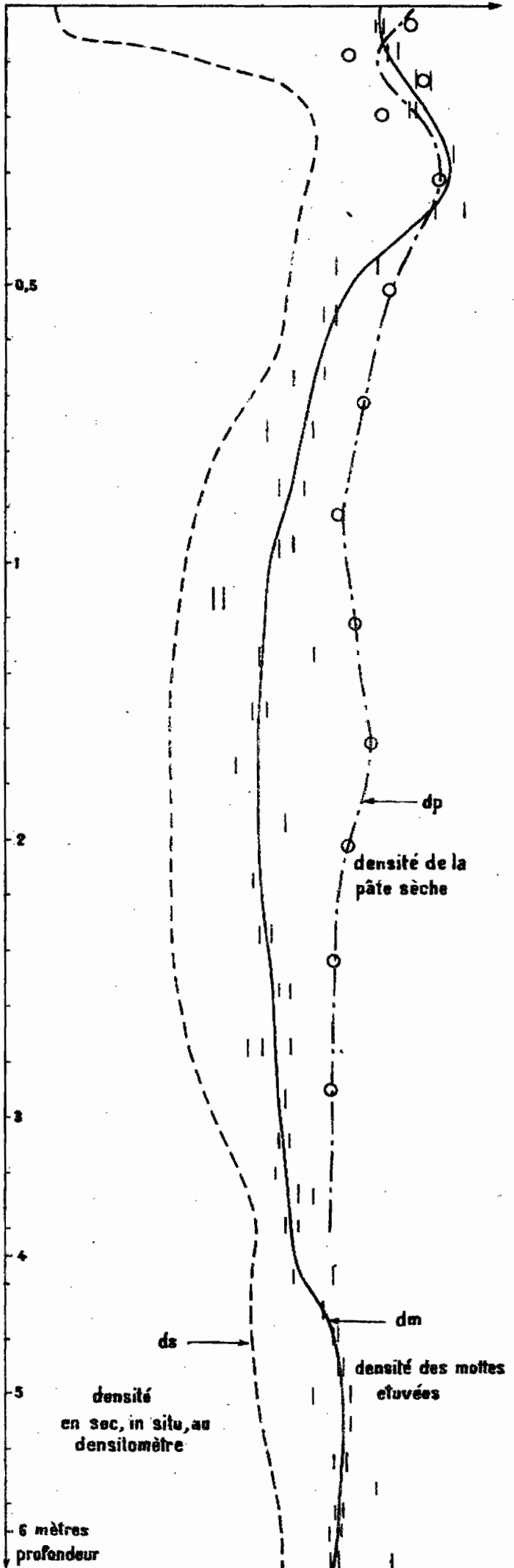
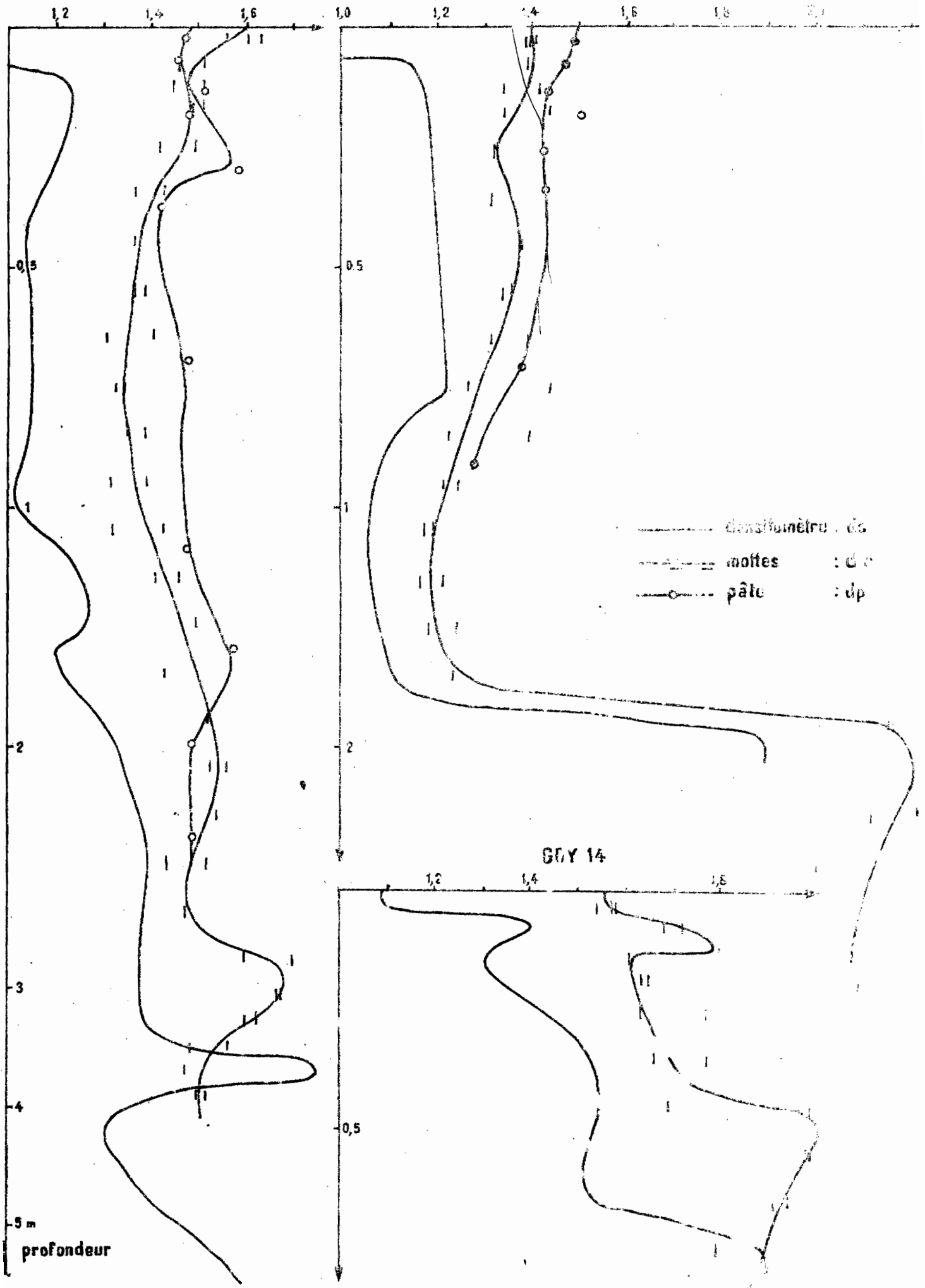


Figure 14

GOY 13

Densités comparées

GOY 12



— densimètre : ds  
 - - - mottes : d'c  
 —○— pâte : d'p

profondeur

Figure 10

terfluve (2,75) que sur la pente (2,70) et surtout que dans le bas-fond (2,65). En GOY 13 elle diminue en profondeur (2,63).

### Compacité totale C.

C'est la fraction de volume occupée par la matière solide, principalement minérale :  $C = ds/D$ . La densité réelle variant peu, la courbe de compacité conserve l'allure de la courbe de densité apparente  $ds$  : en sommet d'interfluve C est minimum en surface (0,33) puis passe par un maximum de 0,45 - 0,50 dans l'horizon Hc et descend ensuite à 0,4 dans l'horizon Ha. Dans le sol de bas-fond la compacité croît irrégulièrement de 0,43 à 0,74.

### Compacité hors quartz C'.

La compacité peut être rapportée seulement à la fraction du volume total excluant celui du squelette quartzeux. C'est la compacité hors quartz  $c'$  (HUMBEL, 1974) qui a pour valeur :

$$c' = \frac{d}{D} \times \frac{2,65 - sD}{2,65 - sd}$$
 où 2,65 est la densité réelle du quartz et  $s$  le taux pondéral de quartz (sables).

Les résultats obtenus sur les sols de la séquence sont présentés en courbes sur la figure 16 : on constate que la compacité est maximale à la partie inférieure de l'horizon Hc (0,38) et dans les horizons profonds hydromorphes de GOY 13 et GOY 14 (0,50). Elle diminue dans les horizons Ha travaillés par la faune et en profondeur (GOY 11).

Les fortes compacités s'observent donc dans des horizons peu ou pas humifères et qui présentent soit d'importantes variations saisonnières d'humidité (horizon Hc) soit au contraire une humidité élevée proche de la saturation (horizons BG). Les deux maxima de GOY 11 se retrouvent dans les courbes d'argile volumique qui suivent approximativement l'allure de ces courbes de compacité (figures 20, 21 et 22).

### Porosité totale P.

C'est la complément à 1 de la compacité totale c'est-à-dire la fraction du volume total occupée par des fluides eau et gaz. On l'exprime généralement en %. Ses variations sont évidemment opposées à celles de C : Maximum en surface, 65 %, diminution à 50 - 55 % dans l'horizon Hc puis remontée à près de 60 % en Ha. Dans le sol de bas-fond elle est moins élevée et décroît de 57 à 36 %.

La courbe de porosité totale apparaît dans les diagrammes volumiques (figures 20, 21 et 22) ou elle sépare les fractions occupées par les fluides (à gauche) des fractions occupées par les solides (à droite).

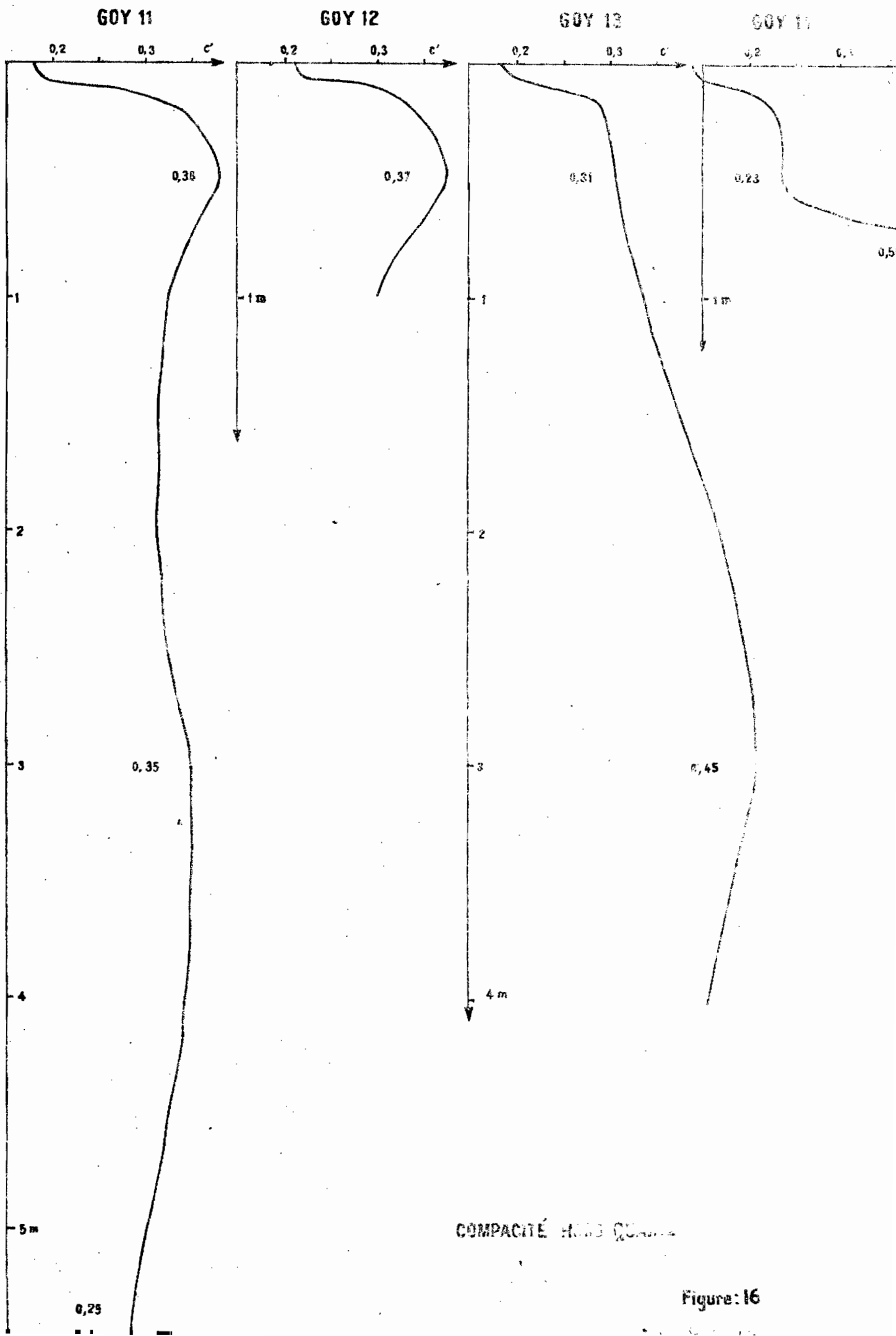
La porosité totale peut être décomposée en trois parts : une fraction composée de pores fins toujours occupés par l'eau, même en saison sèche, une fraction grossière toujours occupée par de l'air dans le sol ressuyé, même en saison humide, et une fraction intermédiaire occupée alternativement par de l'air (saison sèche) et de l'eau (saison des pluies), et qui sera appelée porosité disputée.

Pression pédostatique.

La pression pédostatique ou pression exercée à une profondeur donnée par le poids de la terre sus-jacente peut être calculée en intégrant par tranches métriques la densité apparente in situ. On obtient, respectivement pour le sol humide (TH) et pour sa seule partie sèche (TS), en bar :

Profil	GOY 11		GOY 12		GOY 13		GOY 14	
Prof.	TH	TS	TH	TS	TH	TS	TH	TS
à 1 m	0,165	0,124	0,153	0,116	0,146	0,115	0,198	0,156
à 2 m	0,316	0,238			0,311	0,239		
à 3 m	0,467	0,351			0,493	0,376		
à 4 m	0,633	0,475			0,673	0,515		
à 5 m	0,791	0,591			0,843	0,649		
à 6 m	0,96	0,720						

Ainsi la pression atteint 1 bar à 6 m de profondeur en GOY 11, c'est-à-dire au-dessus de la cuirasse.



### 43 - DYNAMIQUE SAISONNIERE.

#### 43.1 - Apport pluvial.

La pluviométrie a été mesurée à proximité de la séquence à partir de Juin 1971 :

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1971	?	?	?	?	?	162	193	149	214	306	17	88	?
1972	20	57	148	104	123	134	124	118	113	456	135	15	1648mm
1973	0	47	81	75	203	140	125	149	233	251	10	41	1355mm

Sa répartition par décade est présentée à la figure 24. On distingue nettement deux saisons des pluies en 1972, la première totalise 705 mm en 150 jours, la seconde 787 mm en 80 jours. Par rapport à la moyenne obtenue au poste de BETARE-OYA sur 35 ans et de BOMBI sur 10 ans, la première saison 1972 de GOYOUUM a été plus pluvieuse et surtout plus étalée en durée (commencée dès la fin Février) et la seconde plus courte et plus tardive (Octobre). La saison sèche intermédiaire n'a duré que 27 jours pendant lesquels il est tombé 13 mm.

#### 43.2 - Humidité (H) du sol et pF.

Les prélèvements 1 - 2 - 3 - 4 pour dosage d'humidité ont été faits respectivement le 23 Mars, le 27 Juin, le 12 Août et le 17 Octobre, à la tarière et à raison d'un seul sondage par profil. En année moyenne ils auraient assez bien caractérisé l'état hydrique du sol à la fin de chacune des quatre saisons annuelles. Mais en 1973 du fait du décalage des saisons le sol avait déjà reçu 100 mm de pluie au moment du prélèvement n° 1 et il en a reçu encore 150 mm après le prélèvement n° 2. Le prélèvement n° 3 est bien placé en fin de petite saison sèche mais le prélèvement n° 4 a été effectué trop tôt puisqu'il est tombé encore 304 mm ensuite.

#### Quantités retenues.

L'humidité a été exprimée en mm d'eau contenus dans chaque tranche de un mètre, puis cumulés depuis la surface du sol. Les chiffres soulignés indiquent les tranches dont l'humidité paraît supérieure à la capacité au champ, voire même proche de la satu-

ration :

Tranche en mètres	GOY 11 Prélèvements				GOY 12 Prélèvements				GOY 13 Prélèvements			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0 - 1	370	366	312	408	334	362	333	373	286	308	248	284
1 - 2	295	342	288	370	274	344	-	353	298	412	330	338
2 - 3	313	357	308	378	cuirasse				330	450	350	350
3 - 4	353	362	332	424					323	414	312	362
4 - 5	349	330	328	429					326	357	325	360

Cumul

0 - 2	665	708	601	778	609	706	-	726	585	720	578	622
0 - 3	978	1065	909	1156					915	1170	927	972
0 - 4	1332	1426	1248	1580					1238	1585	1239	1334
0 - 5	1681	1756	1570	2001					1565	1942	1564	1694

GOY 14 : 0 - 1 m : 354 mm en 1, 342 mm en 2, 291 mm en 3 et 345 mm en 4.

Il y a donc au maximum 2 m d'eau dans 5 m de sol soit un taux moyen d'occupation de 40 % en volume.

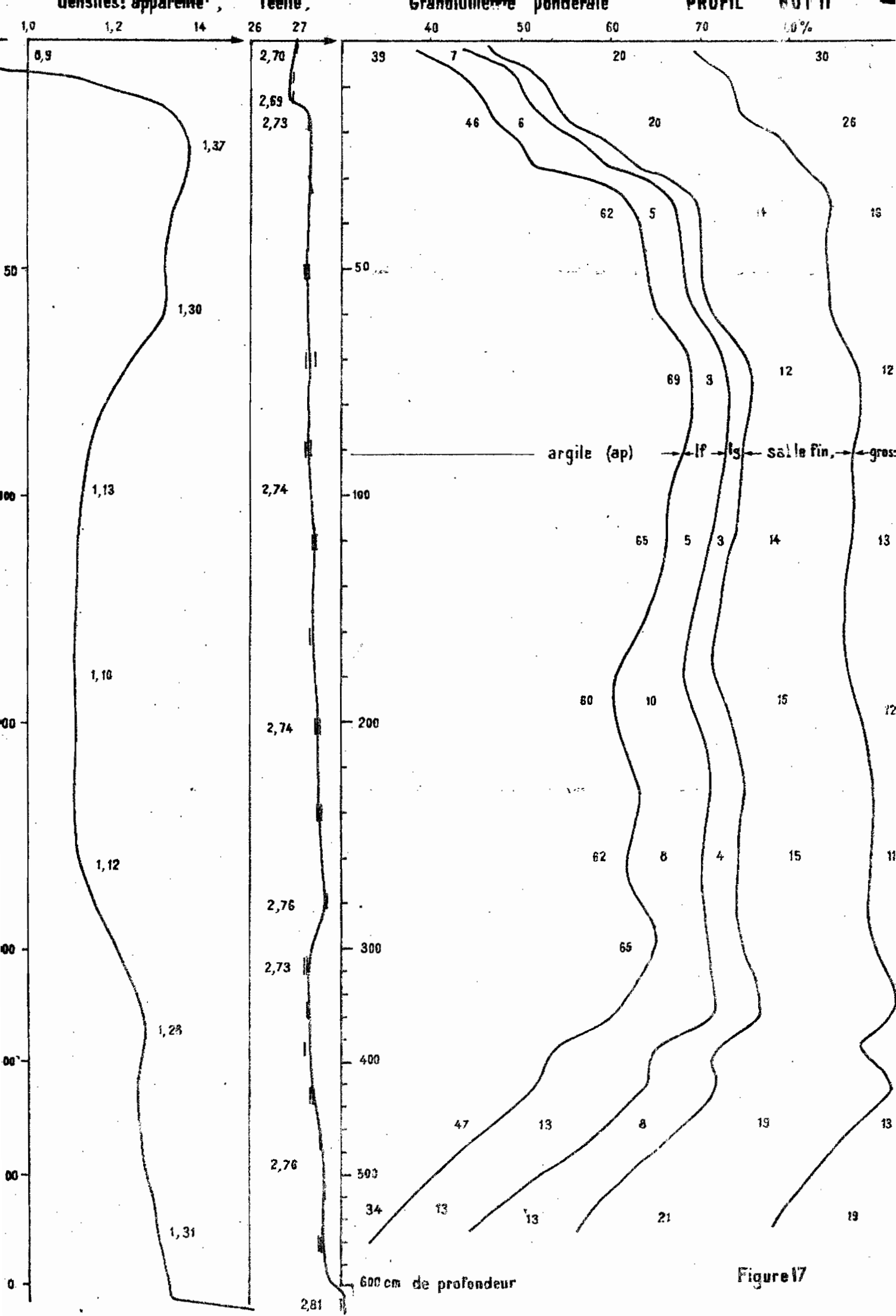
Les quantités maximales d'eau contenues dans le sol sont relevées à la première saison des pluies en GOY 13 et à la seconde en GOY 11.

Etat de l'eau.

Saturation. Le sol est saturé en eau lorsque l'humidité volumique  $h_v$  atteint in situ la valeur de la porosité totale\*  $P$ , on s'en approche suffisamment, compte tenu du piégeage de l'air. On considérera arbitrairement que lorsque  $(P - h_v)/P < 0,20$  les lois de l'écoulement en régime saturé s'appliquent. Les taux de saturation  $h_v/P$  ont varié en 1972 de 50 à 100 %, les valeurs minimales et maxi-

\* La densité apparente qui intervient dans le calcul de  $H_v$  et  $P$  est la densité en saison des pluies (gonflement saisonnier).





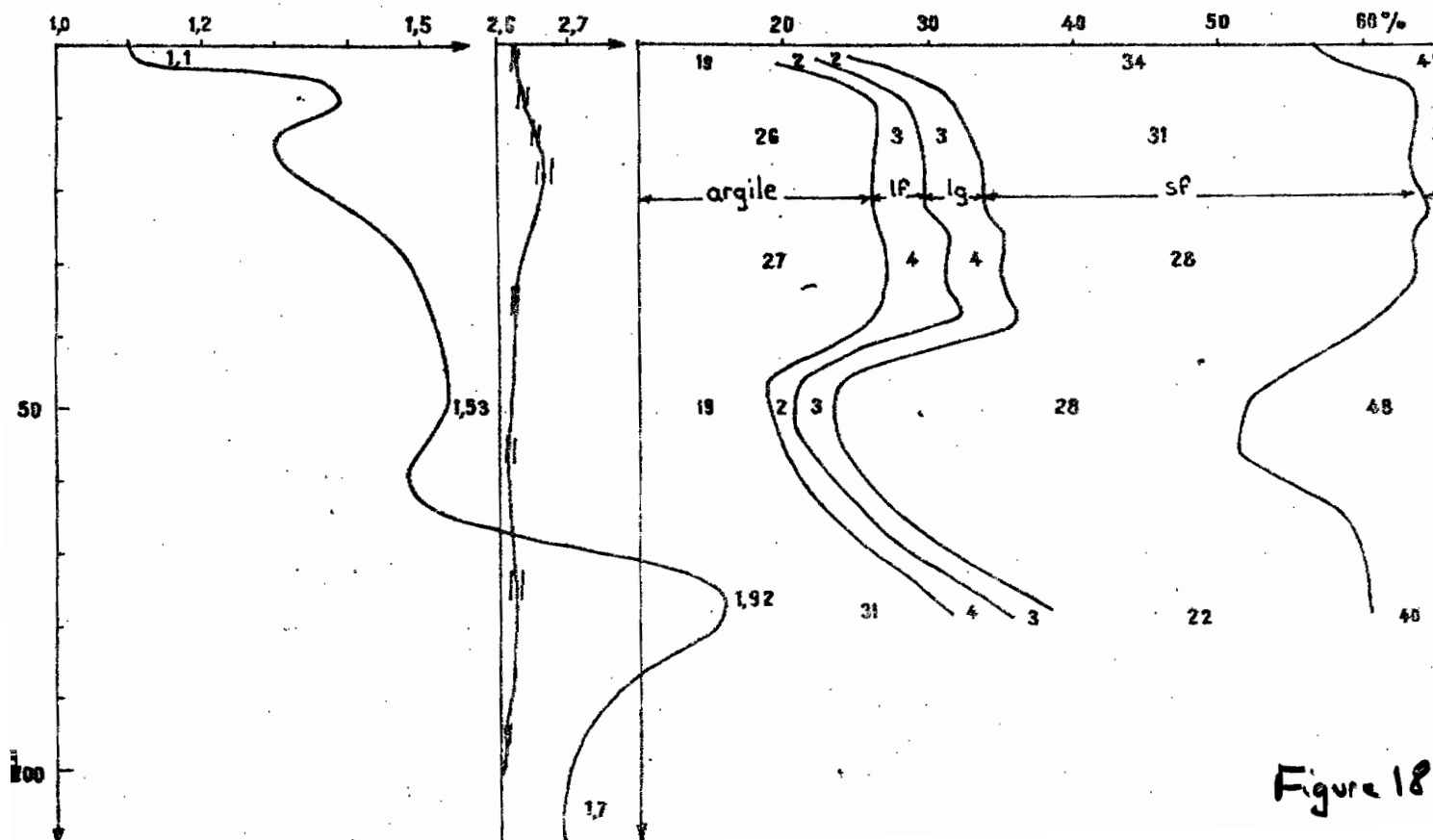
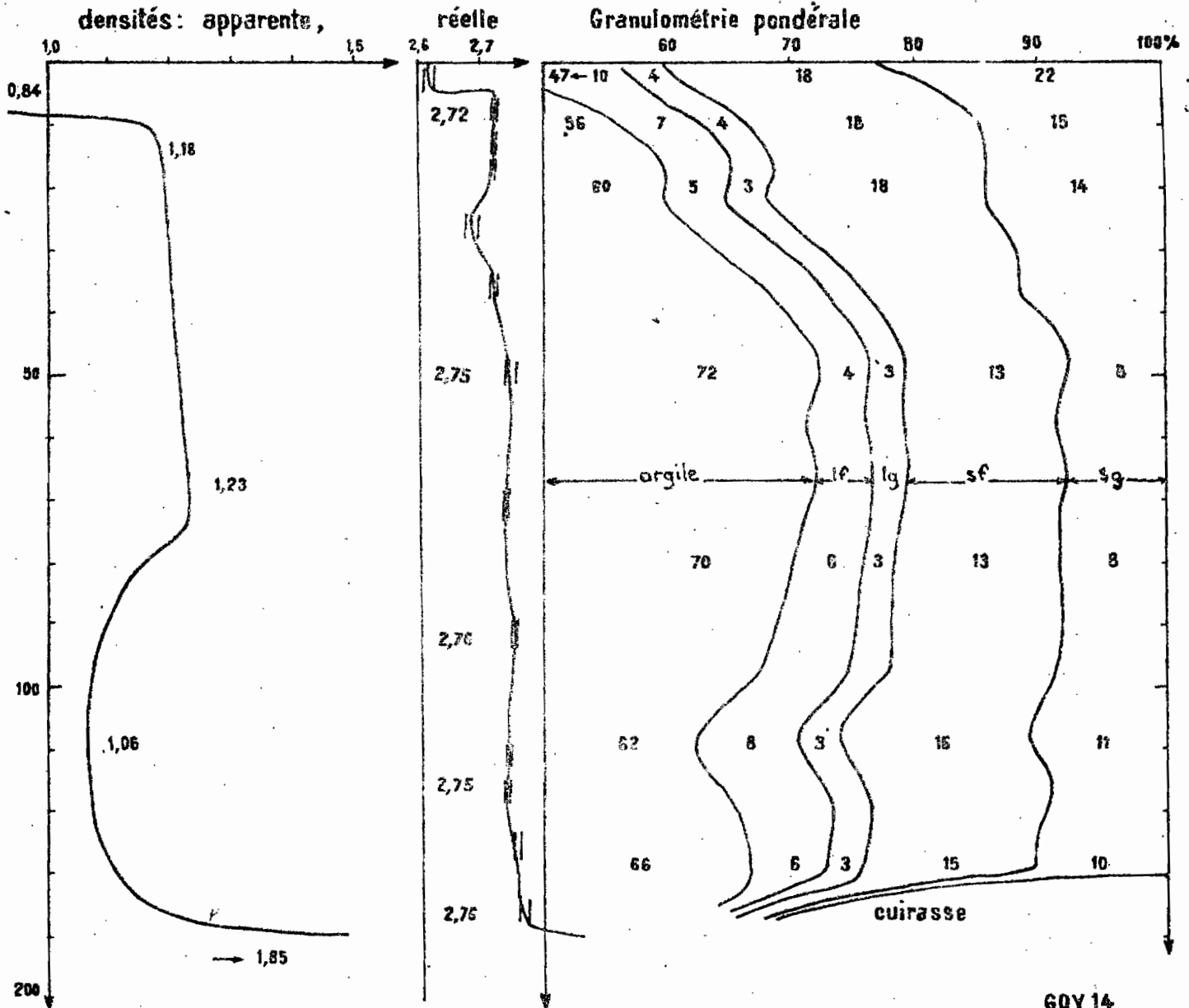
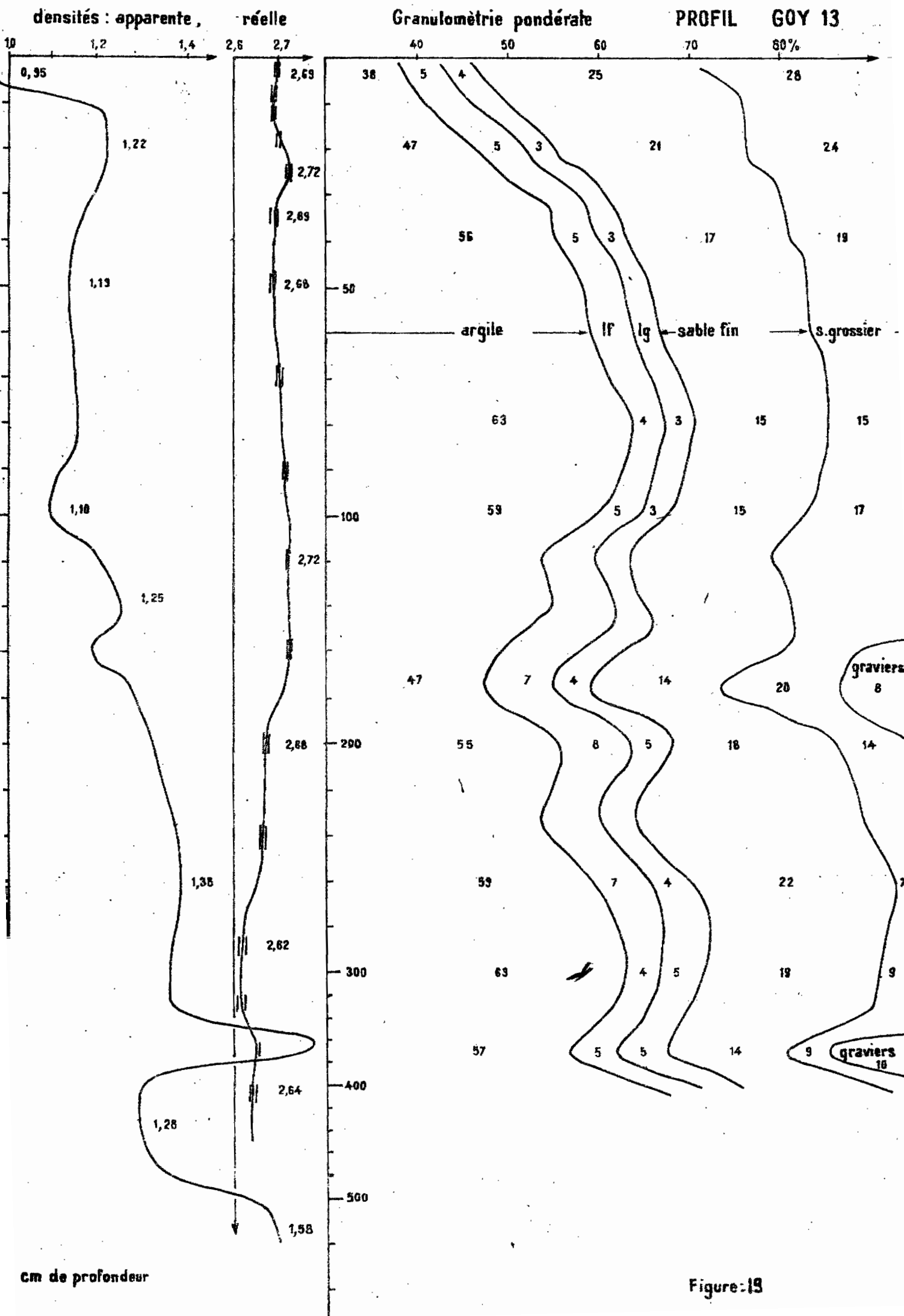


Figure 18



males observées étant :

Tranche	GOY 11		GOY 12		GOY 13		GOY 14	
	min(3)	max(4)	min(3)	max(4)	min(3)	max(2)	min(3)	max(17)
0 - 1	58 %	75 %	58 %	64 %	50 %	54 %	72 %	100 %
1 - 2	48 %	62 %	54 %	69 %	54 %	74 %		
2 - 3	52 %	64 %	cuirasse		67 %	92 %		
3 - 4	59 %	76 %			67 %	86 %		
4 - 5	61 %	80 %			69 %	76 %		

( ) n° du prélèvement.

Il apparaît donc que la saturation n'a été atteinte ni approchée en GOY 11 dans les 5 mètres supérieurs du sol, ni en GOY 12 malgré la présence d'une cuirasse compacte. Par contre en GOY 13 la saturation est pratiquement réalisée, en saison humide, au-dessous de 2 m de profondeur. En GOY 14 elle l'est dès 40 cm. Il existe ainsi une possibilité d'écoulement oblique en saison des pluies à la base des profils de la forte pente du bas de versant : régime saturé, charge hydraulique importante, forte conductibilité oblique (voir chapitre 4.5).

Rétention aux différents pF (figure 23). Les quantités d'eau retenues à pF 4,2 - 3,0 et 2,5 par la terre tamisée sont, en mm d'eau par tranches métriques :

Profil	GOY 11			GOY 12			GOY 13			GOY 14		
pF	4,2	3,0	2,5	4,2	3,0	2,5	4,2	3,0	2,5	4,2	3,0	2,5
Tranche												
0-1 m	218	268	289	226	285	304	214	241	269	150	175	207
1-2 m	235	278	294				253	293	315			
2-3 m	238	291	310				244	329	303			
3-4 m	265	330	344				250	274	306			
4-5 m	249	306	327				268	308	321			

Le taux de saturation en eau du profil par rapport à l'humidité

à pF 2,5 est de :

Profil	GOY 11		GOY 12		GOY 13		GOY 14	
	min.	max.	min.	Max.	min.	max.	min.	max.
Tranche								
0-1 m	108 %	141 %	109 %	123 %	92 %	105 %	140 %	171 %
1-2 m	98 %	125 %			104 %	107 %		
2-3 m	99 %	122 %			115 %	115 %		
3-4 m	97 %	123 %			102 %	118 %		
4-5 m	100 %	131 %			97 %	112 %		

On constate qu'aux saisons sèches de 1972 l'humidité des profils a toujours été très supérieure au point de flétrissement permanent et située au voisinage du pF 2,5. En saison des pluies cette humidité est à peu près 1,2 fois le pF 2,5 (le profil GOY 14 est engorgé).

Variations saisonnières (figure 24).

Du prélèvement 2 (Juin) au prélèvement 3 (Août) les profils ont perdu par évapotranspiration et drainage des quantités d'humidité comparables.

Tranche	GOY 11	GOY 12	GOY 13	GOY 14
0 - 1	53	28	60	50
0 - 2	107	106	142	-
0 - 5	186	-	178	-

Par contre le gain de saison des pluies met en contradiction les comportements hydriques de GOY 11 et de GOY 13.

Tranche en m.	GOY 11		GOY 12		GOY 13		GOY 14	
	I	II	I	II	I	II	I	II
0 - 1	-4	+95	+28	-25	+22	+36	-12	+54
0 - 2	+43	+177	+98	-	+135	+45	nappe	
0 - 3	+86	+247	ouïrasse		+255	+45		
0 - 4	+94	+338			+346	+94		
0 - 5	+75	+439			+377	+130		

I gain de Mars à Juin pour 376 mm d'apport pluvial.

II gain d'Août à Octobre pour 483 mm d'apport pluvial.

argile volumique

diagramme volumique (1972)

porosité disputée

taux de gaz, min, et max,

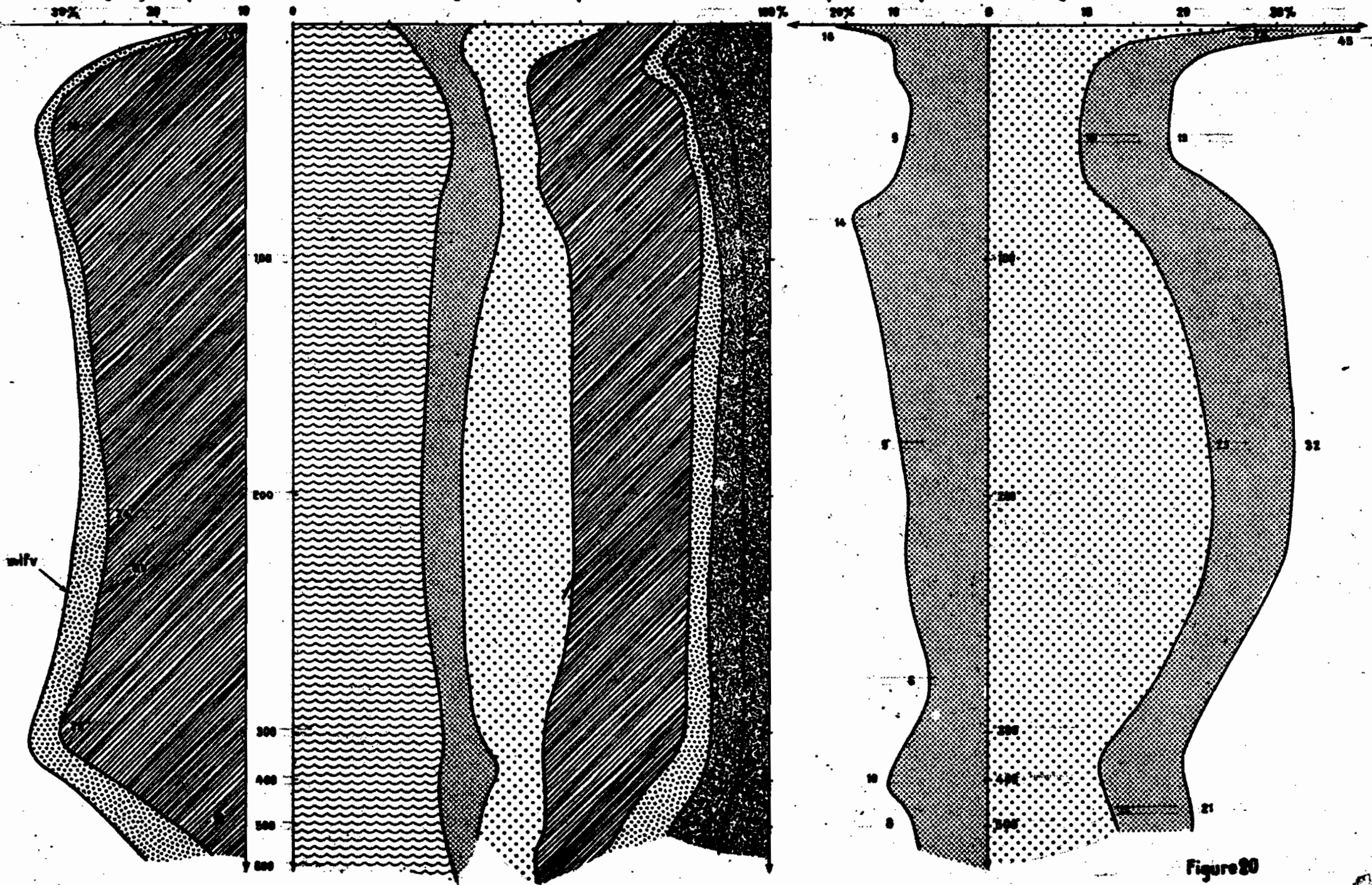


Figure 20

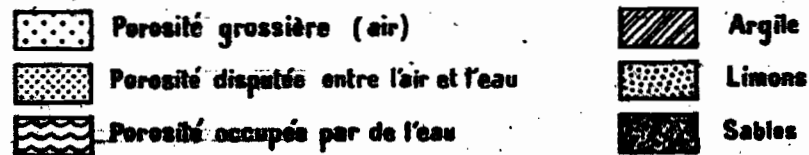
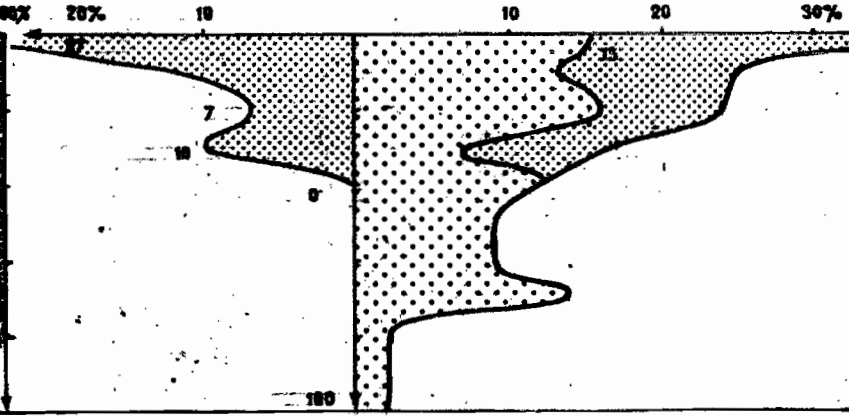
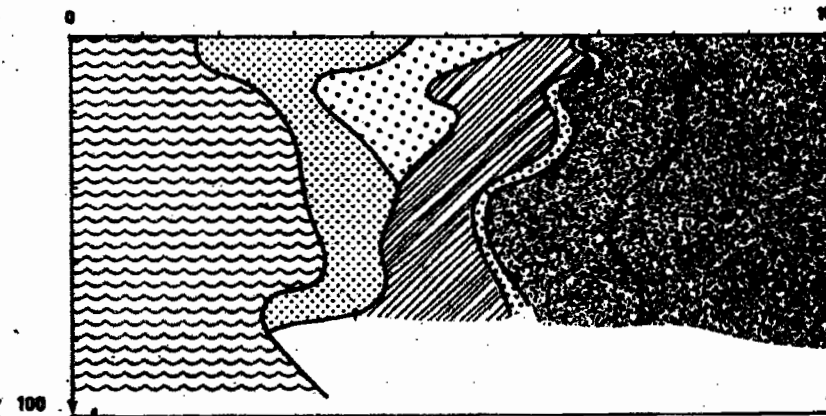
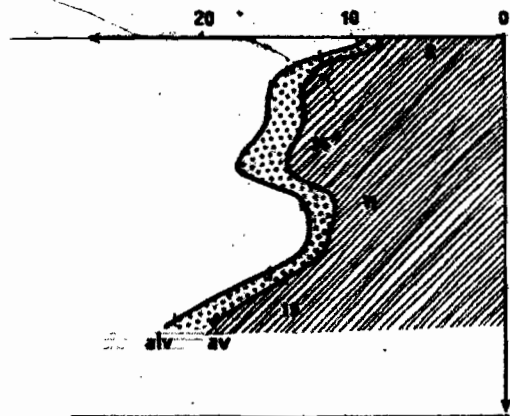
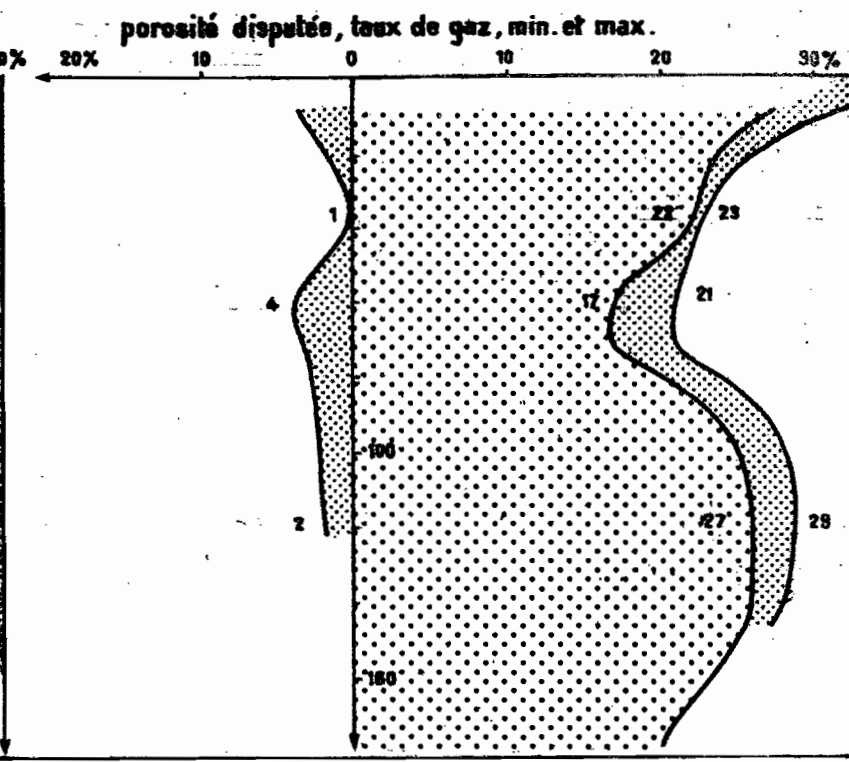
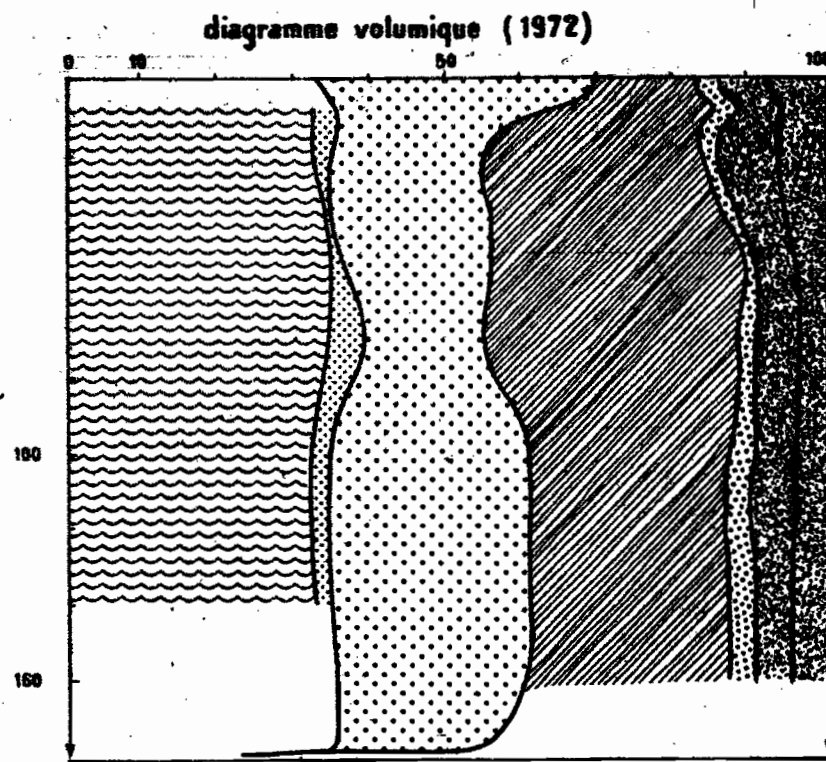
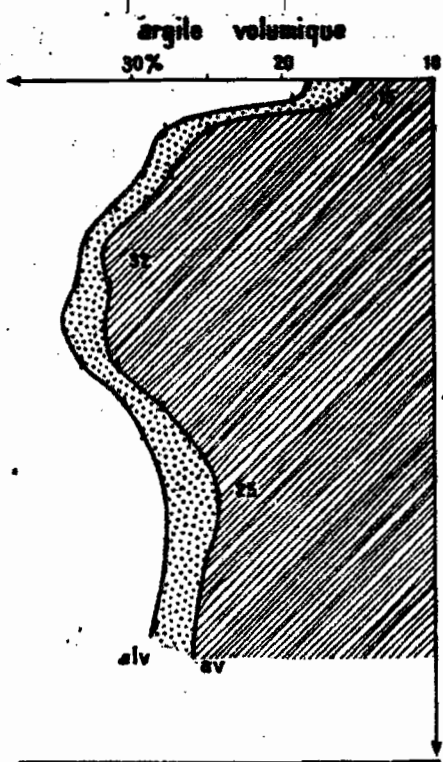


Figure 21



argile volcanique

diagramme volumique (1972)

porosité dispulée

taux de gaz, min, et max.

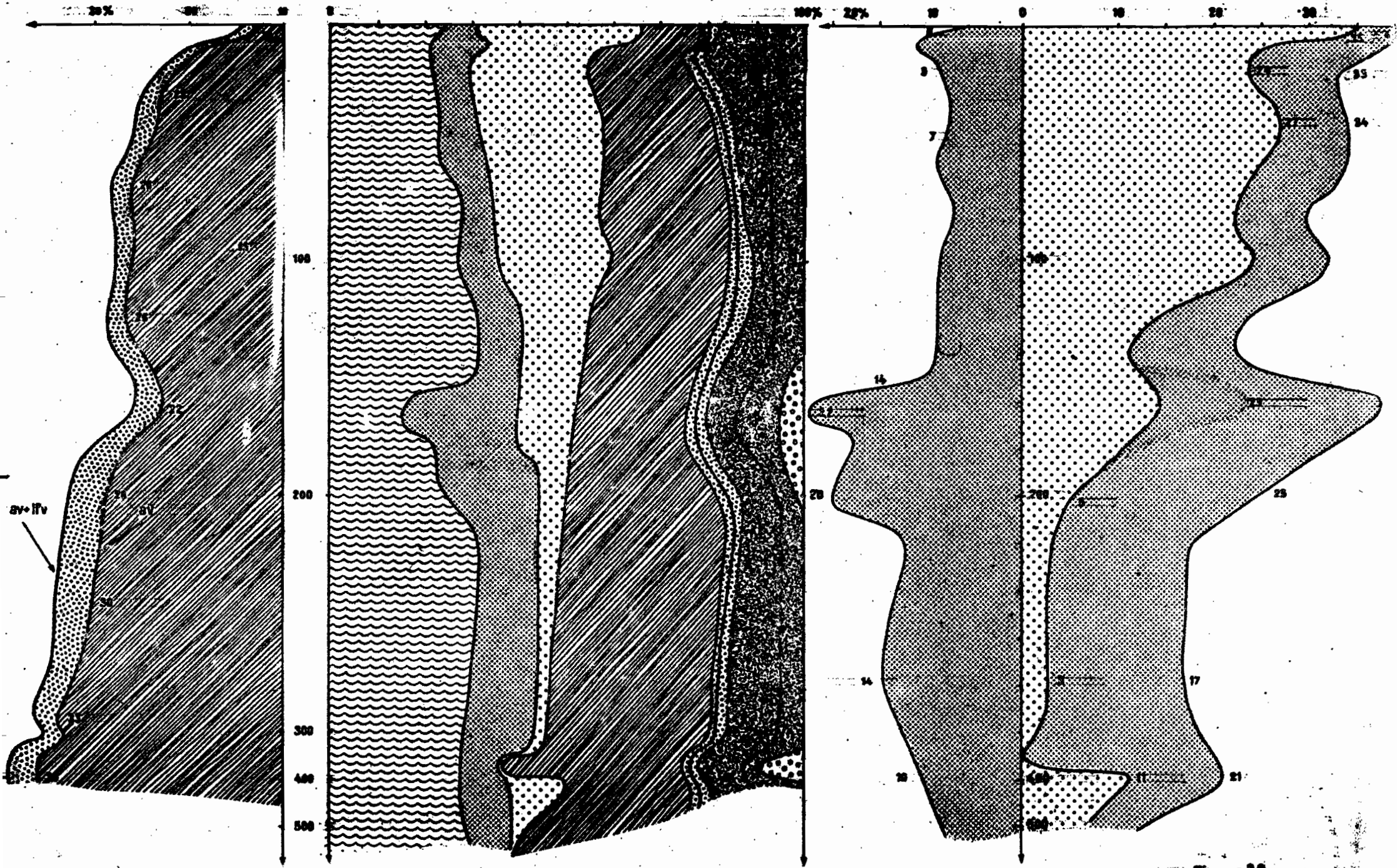


Figure 22.

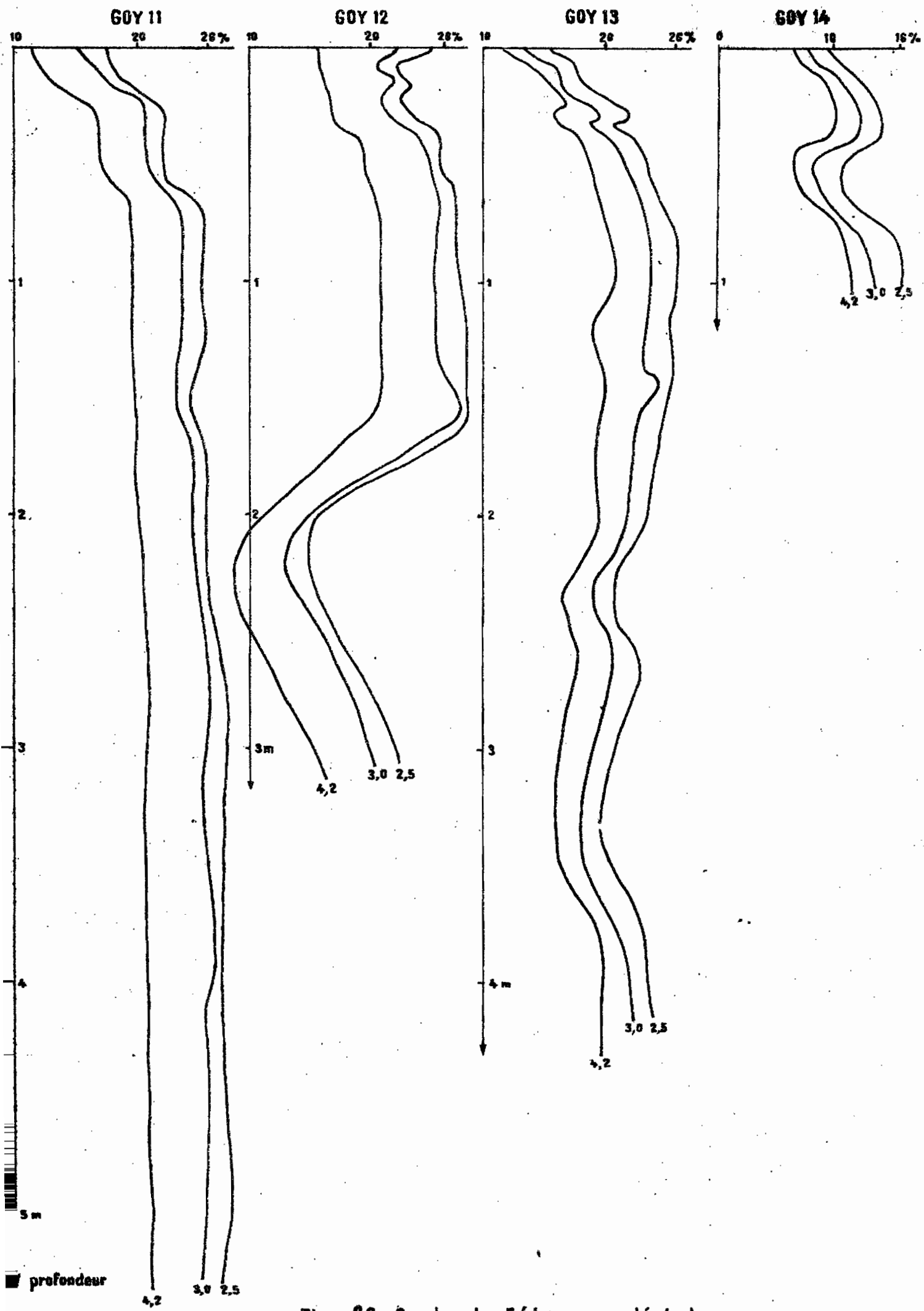


Figure 23: Courbes de pF (teneurs pondérales)

### Commentaire.

Le comportement opposé des profils GOY 11 et GOY 13 à la première et à la seconde saison des pluies est difficile à comprendre. La régularité du dessèchement entre les prélèvements 2 et 3 (petite saison sèche) permet d'exclure une erreur de mesure pour ces deux prélèvements. L'humidité au prélèvement 1 étant sur-estimée de près de 100 mm les gains I doivent être majorés d'autant. L'apport pluvial est largement dépassé alors en GOY 13 qui montre des signes évidents d'engorgement au prélèvement 2. La capacité au champ (en mm d'eau pour 5 m de sol) peut être fixée vers 1750 en GOY 11 et 1700 en GOY 13 (sol ressuyé de saison humide). Elle est dépassée en GOY 13 au prélèvement 2 et en GOY 11 au prélèvement 4, période à laquelle le profil GOY 13 est revenu à la capacité au champ !

Tout se passe donc comme s'il se formait à la base des profils de la pente une nappe temporaire alimentée en partie par apport latéral et dont l'installation progresserait d'aval en amont, de Juin (GOY 13) à Octobre (GOY 11). Sa disparition de GOY 13 dès la fin de la petite saison sèche pourrait provenir du drainage oblique rapide de cette partie de la toposéquence (forte charge et gros pores tubulaires horizontaux) dans laquelle l'écoulement peut être ainsi hiérarchisé (hétérogénéité de répartition de l'humidité). Cet essai d'explication est schématisé sur la figure 24 mais une étude détaillée est tout à fait nécessaire pour éclaircir la dynamique actuelle de l'eau dans ce type de séquence.

### 43.3 - Aération A du sol.

Le taux de gaz ou fraction du volume occupée par "l'atmosphère" du sol figure au centre des diagrammes volumiques (figures 20, 21, 22). Ses variations saisonnières sont égales aux variations d'humidité, moins la variation de porosité (3 % environ) :

$$\Delta \text{eau} = \Delta \text{air} + \Delta \text{porosité}$$

Pour suivre directement leurs variations, les courbes d'aération maximum de saison sèche ( $A^+$ ), d'aération minimum de saison humide ( $A^-$ ) et leur différence  $A^+ - A^- \simeq H^+ - H^-$ , qui est la porosité disputée, sont présentées séparément, à droite des diagrammes volumiques (figures 20, 21, 22).

L'aération est importante en saison sèche (sauf dans le glèy du bas-fond) : plus de 30 % en surface, 20 % en Hc, 30 % en Ha, 10-20 % en profondeur. En saison humide elle diminue nettement dans l'horizon Hc (confinement partiel) et en profondeur, notamment en GOY 13 où elle est presque nulle.

44 - GRANULOMETRIE.

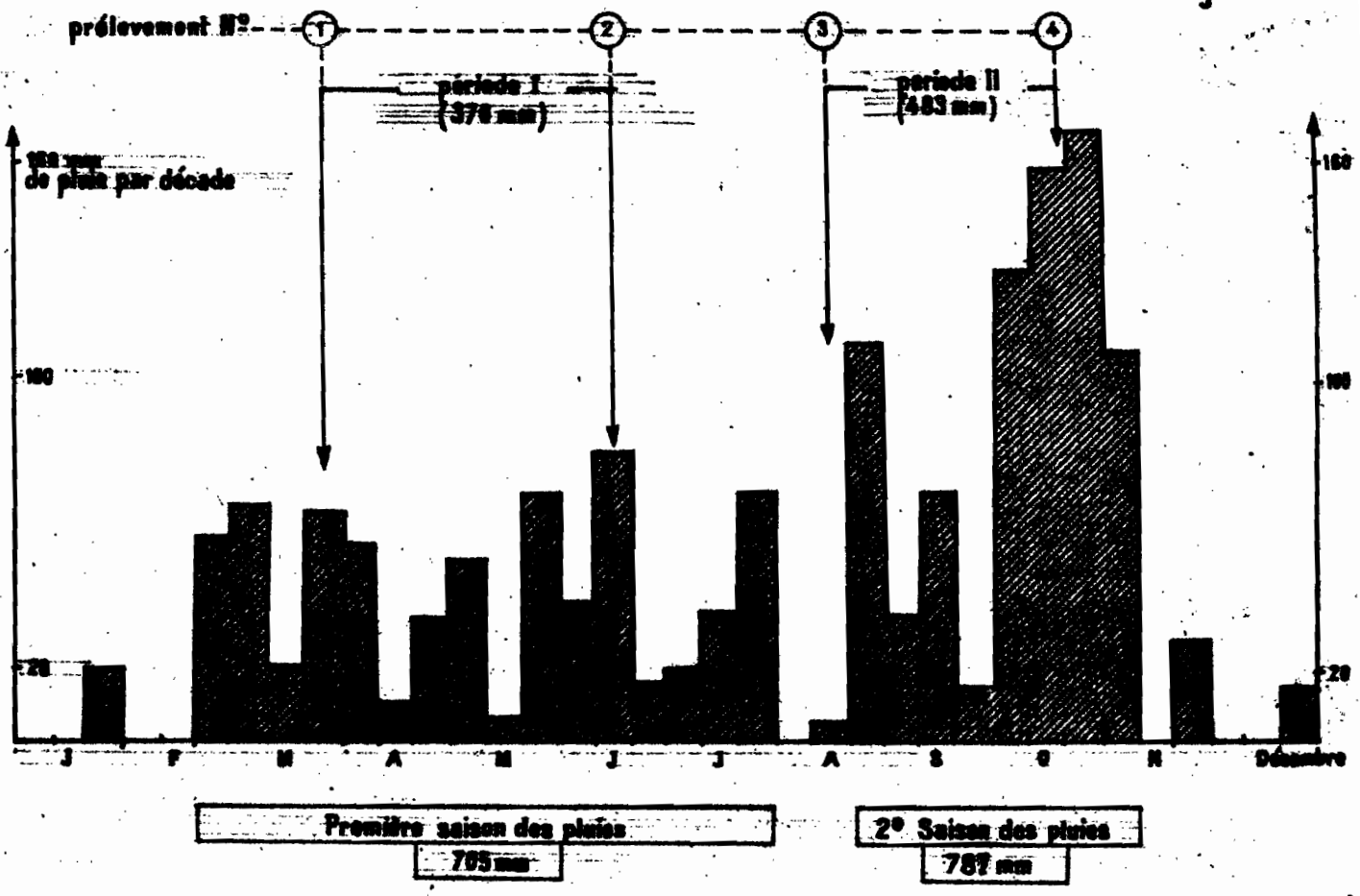
44.1 - Expression pondérale : Les courbes correspondantes sont portées à droite des courbes de densités (figures 17, 18 et 19), et en cumulant successivement l'argile, le limon fin, le limon grossier, le sable fin, le sable grossier et les graviers.

En GOY 11 la teneur pondérale en argile, ap, varie peu, dans les horizons B, entre 40 et 340 cm de profondeur : 60-65 %. Par contre elle décroît à 35-40 % aussi bien en profondeur qu'en surface. La décroissance de profondeur (horizon B3) est progressive sur 3 m et s'effectue au profit commun des sables et des limons. La décroissance en surface est au contraire rapide (40 cm) et n'avantage pas sensiblement les limons. Cette décroissance existe aussi en GOY 12 où elle affecte 50 cm d'épaisseur et en GOY 13 sur 70 cm. La granulométrie des horizons B est plus argileuse en GOY 12 (70 %) et plus irrégulière en GOY 13 où des graviers apparaissent vers 180 cm et 380 cm de profondeur. L'agrégation de l'argile en micropeds résistants rend cependant délicate toute interprétation globale de ces fractions granulométriques. Le rapport sable fin/sable grossier varie peu autour de 1. Dans le solum il y a peu de limons fins (3 à 10 %) et de limons grossiers (3 à 5 %), ce qui est un caractère habituel des sols ferrallitiques.

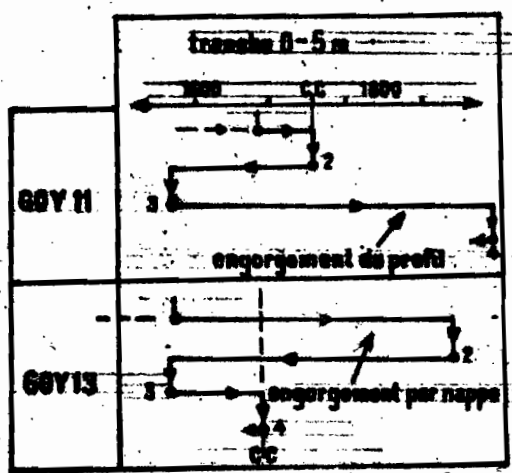
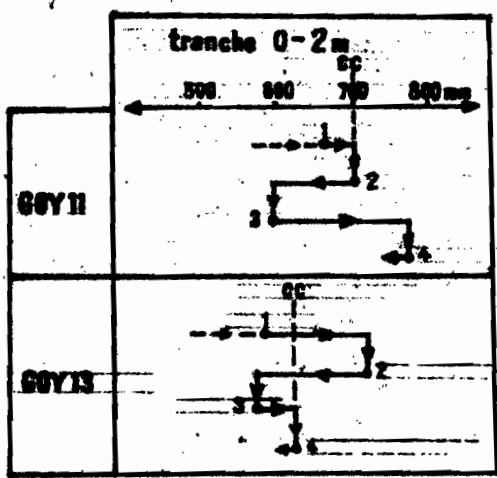
44.2 - Expression volumique : Les teneurs volumiques ont été obtenues simplement en multipliant les teneurs pondérales par la capacité totale car sables et argiles ont ici des densités réelles voisines. Par exemple pour l'argile :  $a_v = a_p \times C$ .

Ainsi les courbes volumiques combinent les variations des courbes pondérales et de la courbe de compacité. Elles apparaissent sur les diagrammes volumiques (1 cm = 10 %), mais en valeurs cumulées.

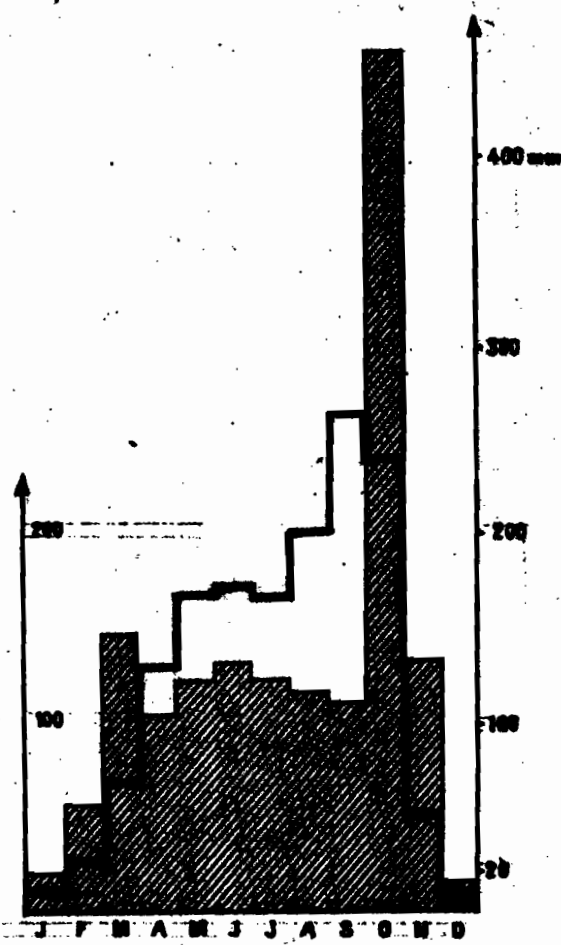
La courbes d'argile et la courbe d'argile + limon fin ont été tracées séparément (1 cm = 5 %) pour suivre commodément leurs variations verticales : on observe de haut en bas une augmentation rapide de  $a_v$  due à l'augmentation simultanée de  $a_p$  et de C, suivie d'une légère décroissance ( $a_p$  constant, C décroissant) puis une nouvelle augmentation en profondeur ( $a_p$  constant / <sup>croissant</sup> suivie



PLUVIOMETRIE PAR DÉCADE A GOYOUM EN 1972



COMPORTEMENT SCHEMATISÉ DES PROFILS GOY11 ET GOY13 en 1972 (par rapport à la capacité au champ CC)



PLUVIOMETRIE MENSUELLE

à Goyoum en 1972  
 à Sétaré-Dya (moyenne de 35 ans)

d'une lente décroissance finale (décroissance importante de  $a_p$  ralentie en  $a_v$  par la légère croissance de  $C$ ). Deux maxima apparaissent donc, l'un coïncidant avec l'horizon compact  $H_c$ , l'autre à la base des horizons B, vers 3 m de profondeur.

Les sables augmentent en surface et en profondeur c'est-à-dire au-dessus et au-dessous des deux maxima d'argile. Les limons n'augmentent nettement qu'en profondeur.

En GOY 14  $a_v$  passe par un minimum en surface et dans la couche sableuse (50 - 70 cm) faisant apparaître deux maxima, le plus important caractérisant le gley argileux et compact situé au-dessous de 70 cm.

#### 45 - PERMEABILITE.

La conductibilité hydraulique du sol in situ a été mesurée à différentes profondeurs dans les quatre profils de la séquence par deux méthodes : la méthode Müntz avec anneau de garde et une méthode directionnelle sur monolithes prélevés dans des cadres métalliques à bord coupant. Dans les deux cas on a mesuré le débit en régime permanent et sous charge d'eau constante.

##### 45.1 - Méthode Müntz.

L'enceinte de mesure est un cadre carré de 250 cm<sup>2</sup> de section enfoncé de 6 cm dans le sol et qui reçoit une charge d'eau initiale de 3 cm, maintenue constante par un dispositif en flacon de Mariotte. Le cylindre de garde a 60 cm de diamètre soit 2830cm<sup>2</sup> de section et la charge d'eau, de 3 cm d'épaisseur également, y est réglée manuellement par l'opérateur. Sur la forte pente en surface de GOY 13 ce cylindre est remplacé par un cadre rectangulaire allongé suivant une courbe de niveau.

Les mesures en surface du sol sont faites sans enlèvement de la litière et des repousses, et le piétinement est soigneusement évité. Les mesures dans le sol sont faites sur les grandes marches horizontales d'une fosse et la dernière au fond de la fosse. L'aire de mesure est protégée du piétinement pendant le creusement des 20 derniers centimètres puis elle est aplanie par petits arrachements au couteau, les débris de terre étant soigneusement éliminés. Le jet de l'eau apportée est amorti par une feuille. Mal-



gré ces précautions l'eau du cylindre de garde est souvent trouble dans les horizons dont la terre est facilement dispersable.

Le débit constant est obtenu rapidement (1/4 h au maximum) et suivi pendant une heure environ. Les mesures ont été faites à la petite saison sèche de 1971 puis à la grande saison sèche suivante : l'humidité initiale du sol était alors 50 à 70 % de la porosité totale (taux de saturation) ce qui représente environ 95 % de la capacité de rétention supposée. L'évacuation de l'air du sol était possible par le côté de la marche sur laquelle était faite la mesure, sauf pour la dernière faite au fond du trou (valeurs plus basses en GOY 13 ? et GOY 14 ?).

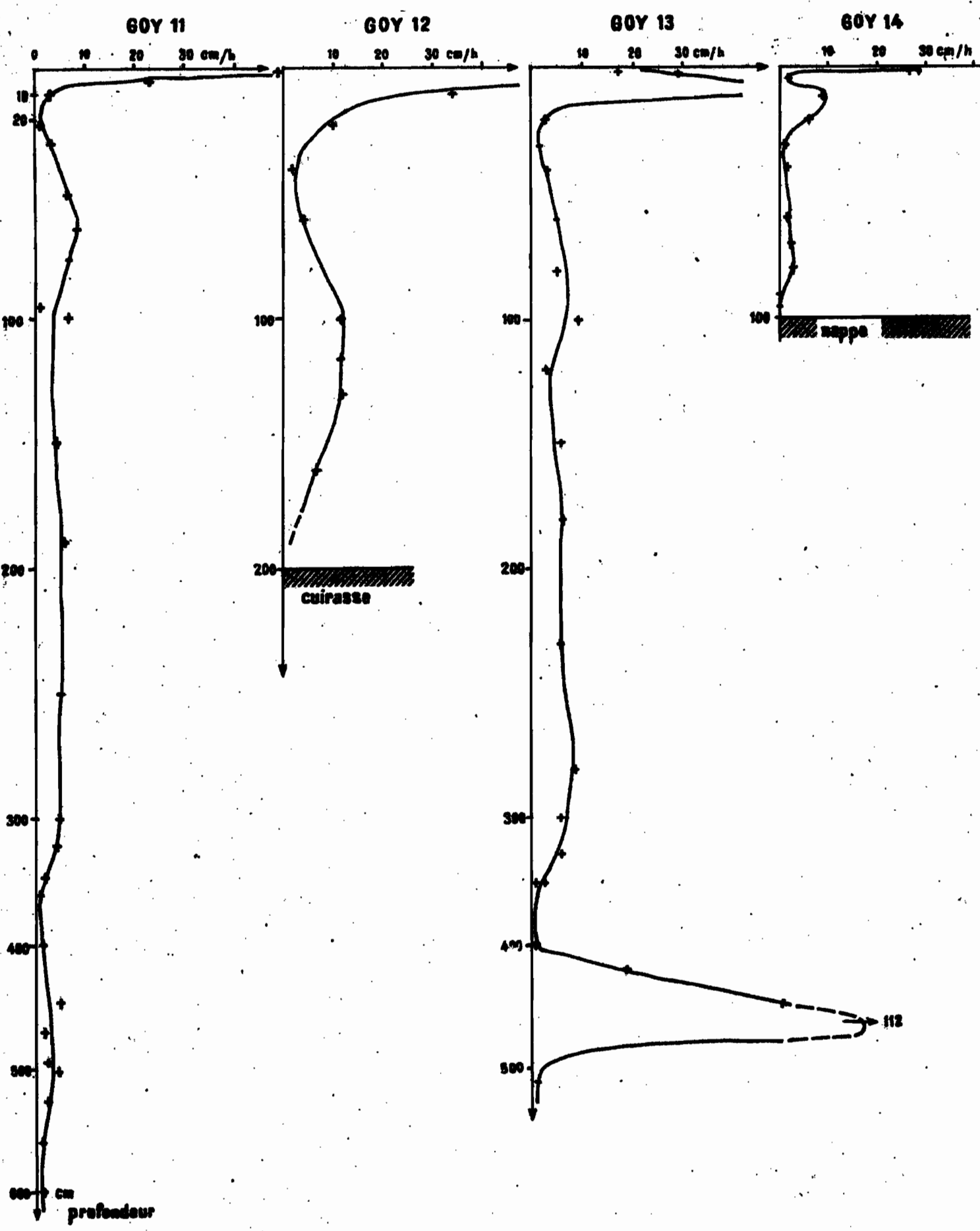
#### 45.2 - Méthode directionnelle (HUMBEL et PELLIER 1969).

Comme dans la méthode Vergière (BOURRIER 1964) le débit d'infiltration de l'eau est mesuré sur un parallélépipède de terre soumis à une charge d'eau constante, dans une direction donnée.

L'échantillon est prélevé dans un cadre en tôle galvanisée d'épaisseur 20/10 mm, de section 250 cm<sup>2</sup>, haut de 20 cm, à bords inférieurs tranchants, à faces externes graissées, et enfoncé dans le sol soit verticalement (chocs d'une masse amortis par une planche) soit horizontalement dans une paroi de la fosse (cric prenant appui sur la paroi opposée). Après dégagement de l'ensemble une des bases est nivelée (bas), l'autre (haut) excavée de 4 cm.

On humecte ensuite l'échantillon de bas en haut dans un seau d'eau de niveau moyen plus élevé que celui de la terre. On chasse ainsi l'air et on repère une éventuelle fissure de bordure qu'on colmate à la parafine (cas rarement observé et résultant d'un enfoncement non rectiligne du cadre). On soumet alors l'échantillon à une charge d'eau d'environ 3 cm maintenue constante par un flacon de Mariotte et on place à sa base un flacon de recueil de section plus faible, 200 cm<sup>2</sup>. Le régime permanent est obtenu presque immédiatement et on mesure son débit pendant 1/2 heure au moins. On mesure également le volume recueilli : s'il est supérieur ou peu différent des 200/250 du volume d'eau total introduit par le haut la mesure est considérée comme valable. Sinon le rapport des volumes peut servir à corriger le débit (1 cas sur 20 environ).





Profils de perméabilité Muñtz (section de mesure 250 cm<sup>2</sup>)

Figure 25

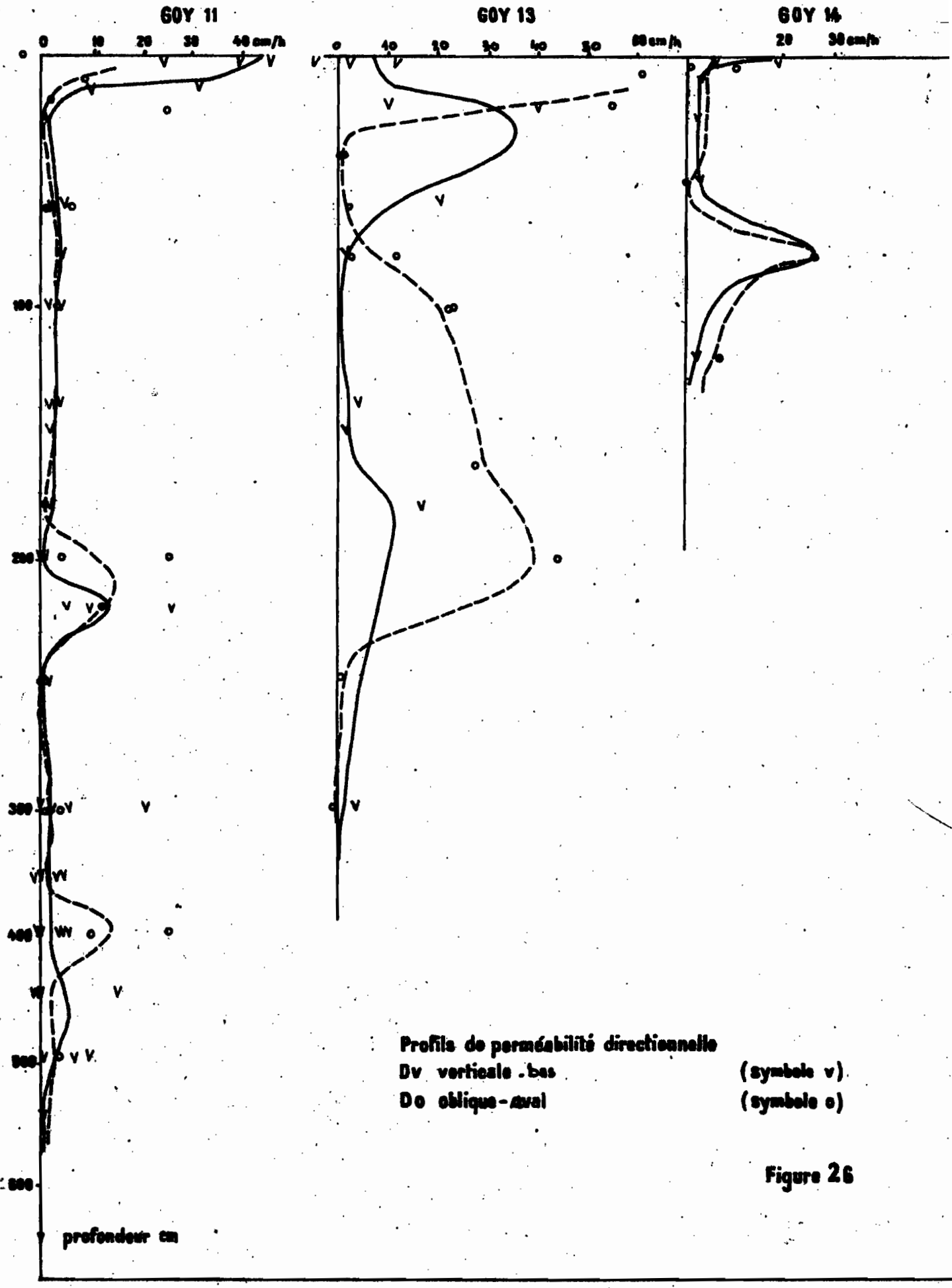


Figure 26

Les dispositifs utilisés pour les deux méthodes ne permettent pas de mesurer des débits inférieurs à 0,1 cm/h. Les faibles débits sont mesurés avec une éprouvette graduée de 100 cm<sup>3</sup>, retournée pour servir de flacon de Mariotte (difficulté d'amorçage). Pour les forts débits (300 cm/h) on maintient la charge en maniant directement le robinet d'un récipient gradué.

### 45.3 - Traitement des données.

On a considéré que l'écoulement n'était pas turbulent malgré la tortuosité et le diamètre de quelques pores, et que le gradient hydraulique était suffisamment élevé par ailleurs, pour que la loi de Darcy soit applicable à tous les débits obtenus qui sont compris entre 0,1 et 300 cm/h.

La loi de Darcy  $q = ks \frac{h+e}{h}$  où  $q$  est le débit brut fictif à travers une colonne verticale de terre de section  $s$ , de hauteur  $h$ , sous une lame d'eau d'épaisseur  $e$ , mesurée en régime permanent saturé, permet d'obtenir le coefficient de perméabilité  $k_t$  à la température  $t$  de mesure. Celui-ci a été ramené à 20° à l'aide du rapport de viscosité  $\mu$  aux températures  $t$  et 20° d'où :

$$k = \frac{\mu_t}{\mu_{20}} \times k_t = \frac{q}{s} \times \frac{h}{h+e} \times \frac{\mu_t}{\mu_{20}}$$

et exprimé en cm/heure.

Le gradient hydraulique  $\frac{h+e}{h}$  étant supérieur ou égal à 1 et la température supérieure à 20° les deux facteurs correctifs d'un débit unitaire  $q/s$  soient  $\frac{h}{h+e}$  et  $\frac{\mu_t}{\mu_{20}}$  ont pour effet de rendre  $k < q/s$ .

Dans le dispositif Müntz le gradient hydraulique a été pris égal à 1 bien que l'expérience montre que la saturation en eau n'est réalisée que sur une faible épaisseur sous la base du cadre.  $k_y$  est donc légèrement sur-estimé.

Résultats obtenus (voir tableaux 1 et 2 et figures 25 et 26).

Tableau n° 1

Perméabilité : Méthode Müntz, k en cm/h

Profil :

GOY 11		GOY 12		GOY 13		GOY 14	
Profondeur	cm/h	Profondeur	cm/h	Profondeur	cm/h	Profondeur	cm/h
Surface	49	Surface	290	Surface	30	Surface	29
	94		277		17		27
5cm	23	5cm	300	5cm	74	5cm	1,5
10cm	2,4	10cm	34	10cm	64	10cm	9,0
25cm	0,4	25cm	9,4	20cm	2,3	20cm	5,6
30cm	2,4	40cm	1,5	30cm	1,6	30cm	0,6
50cm	5,9	60cm	3,9	40cm	2,8	40cm	1,6 et 0,2
65cm	7,8	105cm	11,4	60cm	5,2	60cm	1,3
95cm	0,3	130cm	11,4	80cm	4,8	70cm	2,1
100cm	6	160cm	6,2	100cm	9,1	80cm	2,6
150cm	3,9			120cm	2,8	90cm	0,1
190cm	5,2			150cm	5,3		
250cm	4,8			180cm	6,0		
300cm	4,7			230cm	5,6		
320cm	3,9			280cm	8,4		
350cm	1,8			300cm	5,6		
360cm	1,1			330cm	5,4		
400cm	1,3			350cm	0,4		
450cm	4,8			400cm	2,2		
470cm	1,8			400cm	0,9		
490cm	2,2			420cm	19		
500cm	4,2			450cm	50		
530cm	2,4			470cm	112		
550cm	1,2			515cm	0,8		
600cm	1,2						

Tableau n° 2

Perméabilités directionnelles en cm/h

Prof. (cm)	D V		D0	Prof.	DV	D0	Prof.	DV	D0
	71	72							
0	46.	64.		0	12.0		0	19.	
	40.	25.			2.0			5.6	
10	32.		7.8	5	144	81	5	2.8	9.7
15	10.		1.7			61		2.9	0.4
25	2.0		25	20	40.	55			
							15	60	
60	2.3	3.5	0.3		10.	0.4			
		4.6	0.3	40		0.3	25	1.8	3.1
			5.5	60	20.	2.0			
80	4.0			80	2.0	2.6	50	2.9	0.0
100	4.0	2.1	4.4						
140	4.0	2.0		100		22.	80	25.	26.
150	2.0					22.			
180	1.7		1.7	120	1.0		120	1.7	6.5
200		0.3	4.1	140	3.8				
		0.5	25.	150	2.0				
220		5.6	12.3	170		27.			
		9.8		180	17.				
		26.		200		43.			
250		0.1	0.7						
		1.3	2.0	250		0.4			
		2.4							
300		0.3	1.0	300	0.1	0.3			
		2.9	1.6		4.0				
		5.9	3.5						
		21.							
350		0.2	1.5						
		0.7							
		1.7							
		2.5							
		2.9							
		2.9							
		4.9							

Mesures effectuées en Juillet 1971  
sauf colonne DV 72 de GOY 11 effectuées  
en Mars 1972 (saison sèche).

GOY 11 (suite)

400	0.1	9.9
	0.4	25.
	0.6	
	4.4	
	4.9	
	5.5	
450	0.2	0.1
	0.3	
	0.7	
	0.8	
	15.1	
500	0.3	4.2
	0.5	
	6.5	
	9.1	
550	0.1	1.7
cm	0.2	
	0.2	
	0.3	

Mintz. La conductibilité hydraulique  $k$  mesurée par cette méthode est assez élevée en surface du sol ( $> 100\text{cm/h}$ ) ou juste sous cette surface comme en GOY 13 (tassement superficiel ?) puis elle décroît rapidement (dès 10-20 cm) pour atteindre des valeurs inférieures à 5 cm/h. Le profil sur cuirasse GOY 12 est toutefois un peu plus perméable (termites abondantes ?). Dans tous les profils on observe un minimum relatif, peu accentué, juste sous la tranche supérieure perméable. En profondeur le comportement des profils diffère : en GOY 11 la perméabilité est très faible entre 3 et 6 m tandis qu'en GOY 13 elle s'élève brusquement entre 4 et 5 m. Dans la zone de battement de nappe du profil hydromorphe GOY 14 les perméabilités sont faibles. Un piégeage d'air n'est pas à exclure dans la dernière mesure de GOY 13.

La moyenne des mesures est en général peu différente de la médiane :

Profil	GOY 11	GOY 12	GOY 13	GOY 14
Nombre de mesures	23	6	16	10
Tranche concernée, en cm	10-600	20-160	20-400	5-100
Moyenne des k, en cm/h	2,9	7,3	4,3	2,5
Médiane des k, en cm/h	2,4	7,8	5,0	1,5

Par ailleurs 10 répétitions de mesures d'infiltration en surface de GOY 11 sans anneau de garde et sous un gradient hydraulique estimé à 2 ont donné pour k les valeurs suivantes :

38 - 51 - 75 - 105 - 150 - 165 - 180 - 325 - 390 et 615 dont la moyenne est 151 et la médiane 157 cm/h.

Directionnelles. On ne décèle pas sur les graphiques de différence significative\* entre débits obtenus (sur des échantillons différents) dans les deux directions étudiées qui sont le vertical-bas DV et l'oblique-aval DO (plus grande pente du versant) mais l'hétérogénéité spatiale est grande. De même les valeurs obtenues diffèrent peu de celles obtenues avec la méthode Müntz si l'on excepte quelques valeurs plus élevées qui résultent vraisemblablement de l'ouverture à la base de l'échantillon de 15 cm de hauteur, de tubes fauniques qui étaient aveugles in situ. C'est pourquoi les moyennes sont nettement supérieures aux médianes :

Profil	GOY 11	GOY 13	GOY 14
Nombre	60	20	13
Tranche	20-600	30-300	5-100
Moyenne	5,1	9,6	11
Médiane	2,0	3,2	4,8

Cette concordance approximative entre les résultats obtenus par les méthodes Müntz et DV pourrait indiquer que dans la méthode Müntz la tranche de sol effectivement saturée et obéissant de ce fait à la loi

\* Toutefois en GOY 13, entre 1 et 2 m de profondeur les mesures DO donnent des résultats plus élevés que les mesures DV, résultat qui est en faveur d'une dynamique oblique rapide de la nappe temporaire (voir chapitre 4).



de Darcy est d'épaisseur faible, et que cette mesure n'intègre donc pas les caractéristiques des horizons sous-jacents. Le maintien du régime constant pendant plusieurs heures en est une confirmation. Par contre si l'on interrompt momentanément l'alimentation en eau le régime permanent se rétablit, mais à une valeur plus faible dans les deux méthodes, ce qui peut être attribué à un piégeage d'air plutôt qu'à un gonflement.

#### 46 - Pénétrométrie.

La résistance dynamique à la pénétration d'une pointe a été mesurée en saison sèche sur les profils GOY 11 - 13 et 14 à l'aide d'un pénétromètre à action verticale dont les caractéristiques étaient :

- pointe de forme cylindro-cônique, de section 10 cm<sup>2</sup>,
- tige cylindrique de section 3 cm<sup>2</sup>, de longueur 1,2, de poids (avec enclume) 9,350 kg,
- mouton de poids 15 kg, de hauteur de chute 30 cm.

Les mesures ont été faites sur les marches métriques d'une fosse en escalier et les segments métriques obtenus ont été raccordés en courbe continue sur la figure 27 où ils sont exprimés en nombre (N) de chocs nécessaires à un enfoncement de 1 cm.

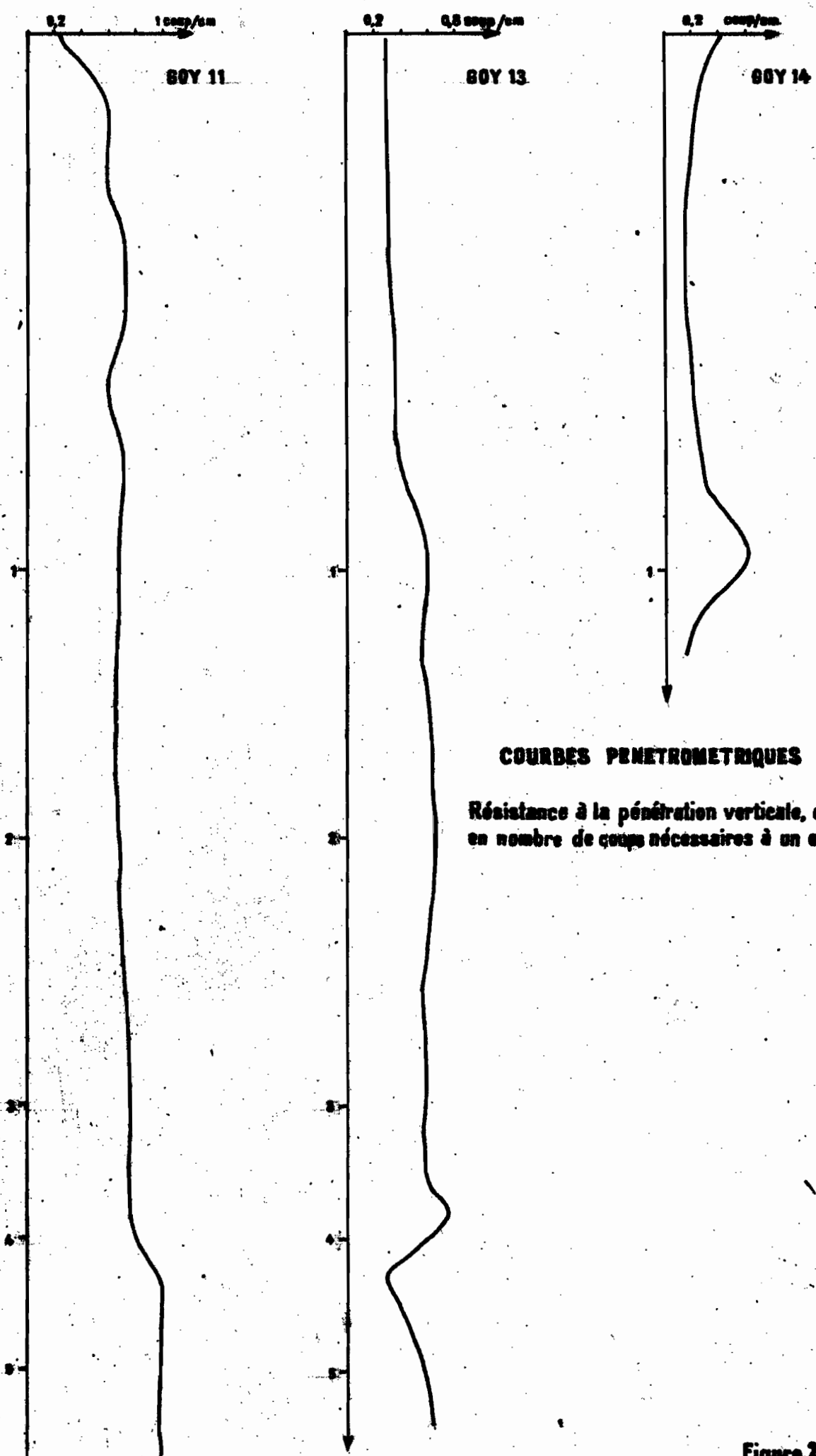
La formule empirique dite des Hollandais :

$$R = \frac{P^2 H}{2(P + p)} \times \frac{1}{S} \times \frac{1}{E}$$

où R est la résistance en kg/cm<sup>2</sup>, P le poids du mouton en kg, p le poids de la tige et de l'enclume, S la section de la pointe en cm<sup>2</sup>, E l'enfoncement par chute de mouton en cm et H la hauteur de chute du mouton donne, pour les caractéristiques de l'appareil:

$$R = \frac{225 \times 30}{2(15 + 10)} \times \frac{1}{10} \times N = 13,5 N$$

On remarque que la résistance est faible dans ces sols et qu'elle augmente lentement de haut en bas. Elle diminue du haut en bas de la séquence, le sol hydromorphe étant particulièrement pénétrable. En profondeur on note toutefois en GOY 13 un maximum à 3,9 m suivi à 4,1 d'un minimum relatif (niveau plus caillouteux). L'horizon Hc n'est pas marqué par une augmentation de la résistance mais celle-ci reste stationnaire ou diminue légèrement dans l'horizon Ha.



**COURBES PENETROMETRIQUES**

Résistance à la pénétration verticale, exprimée en nombre de coups nécessaires à un enfouissement de 1 cm

Figure 27

### Interprétation.

L'augmentation de résistance en profondeur paraît résulter de l'augmentation du taux de sables quartzeux et de la compacité. L'augmentation de l'humidité ne compense donc pas les effets de ces deux causes.

La diminution de résistance en bas de séquence peut être attribuée à des teneurs plus élevées en argile et en humidité, effets que ne compense pas l'augmentation de la compacité.

Les trois facteurs principaux de résistance à la pénétration d'une pointe, squelette quartzeux, dessiccation et compacité se combinent donc différemment mais le facteur : taux de squelette quartzeux indéformable ou plasticité du plasma paraît prépondérant dans ces sols, où la compacité et la dessiccation sont peu accentuées, même en saison sèche.

### 47 - Comportement mécanique.

Trois repères d'humidité pondérale caractérisant le comportement mécanique de la terre remaniée ont été déterminés : la limite de retrait LR, la limite de plasticité LP et la limite de liquidité LL (limites d'Atterberg).

- La limite de retrait est une valeur conventionnelle, tirée du comportement d'une pâte de sol préalablement saturée et qu'on dessèche, en supposant que la réduction de porosité est égale à la perte d'eau jusqu'à cette valeur, puis s'annule totalement.

- La limite de plasticité marque une discontinuité conventionnelle dans le comportement au malaxage d'un petit boudin de terre argileuse.

- La limite de liquidité indique l'humidité au-dessus de laquelle la pâte de sol flue sous son propre poids, c'est-à-dire qu'elle marque conventionnellement un point de la transition entre l'état cohérent et l'état fluide.

On opère donc dans les trois cas sur de la terre broyée où les particules ménagent entre elles une macroporosité différente, et supérieure à celle du sol en place. Il faut donc s'attendre à ce que ces repères traduisent non pas des variations d'organisation des profils mais de leurs constituants. Ceux-ci varient surtout dans leurs proportions relatives, notamment celles des plas-

mas argileux ou organique par rapport au squelette quartzeux. Ainsi ces valeurs varient comme la teneur en argile pondérale (figure 28). Dans les horizons humifères la limite de plasticité devient inférieure à la limite de retrait : ce comportement peut être attribué à la fois à une inhibition du gonflement par la matière organique et à l'encombrement des sables.

La limite de retrait est franchie à chaque saison (figure 28). S'il y a égalité entre l'augmentation d'humidité et l'augmentation de porosité au-dessus de cette limite et si cette dernière caractérise le sol in situ le gonflement volumique est de 6 à 18%. Le gonflement linéaire est alors de 2 à 4% et le soulèvement vertical de la surface du sol est de 7 à 15 cm. En fait l'échantillon remanié présente après malaxage humide suivi de dessiccation une porosité inférieure à celle du sol in situ (voir chap. 4.2 la comparaison entre densité mottière et densité de pâte). L'écartement des particules de sol par les manchettes d'eau peut ainsi commencer à une humidité plus basse. Ce gonflement calculé représente donc plutôt une limite supérieure au phénomène (horizon compact) et ne présage même pas de sa réalité.

#### 48 - Résumé et Conclusion.

Dans le domaine ferrallitique camerounais la séquence de GOYOUM se situe dans la zone intermédiaire entre les sols forestiers du sud à dynamique humide et les sols sous-savane de l'ADAMAOUA à dynamique sèche (HUMBEL 1974) :

- la latitude 5°12' est intermédiaire entre les extrêmes du milieu, 2° et 7°.
- la végétation est forestière mais la forêt est semi-décidue.
- la saison sèche d'été est peu marquée ou absente et les sols subissent ainsi soit une saison humide étalée soit comme au sud deux courtes saisons des pluies.
- la teinte du sol est rouge en profondeur mais jaunît dans les deux mètres supérieurs (des profils étudiés).
- les horizons A sont humifères et aérés mais moins qu'au sud et il apparaît au-dessous un horizon compact, moins marqué cependant que dans l'ADAMAOUA.

COMPORTEMENT MECANIQUE : LIMITES D'ATTERBERG

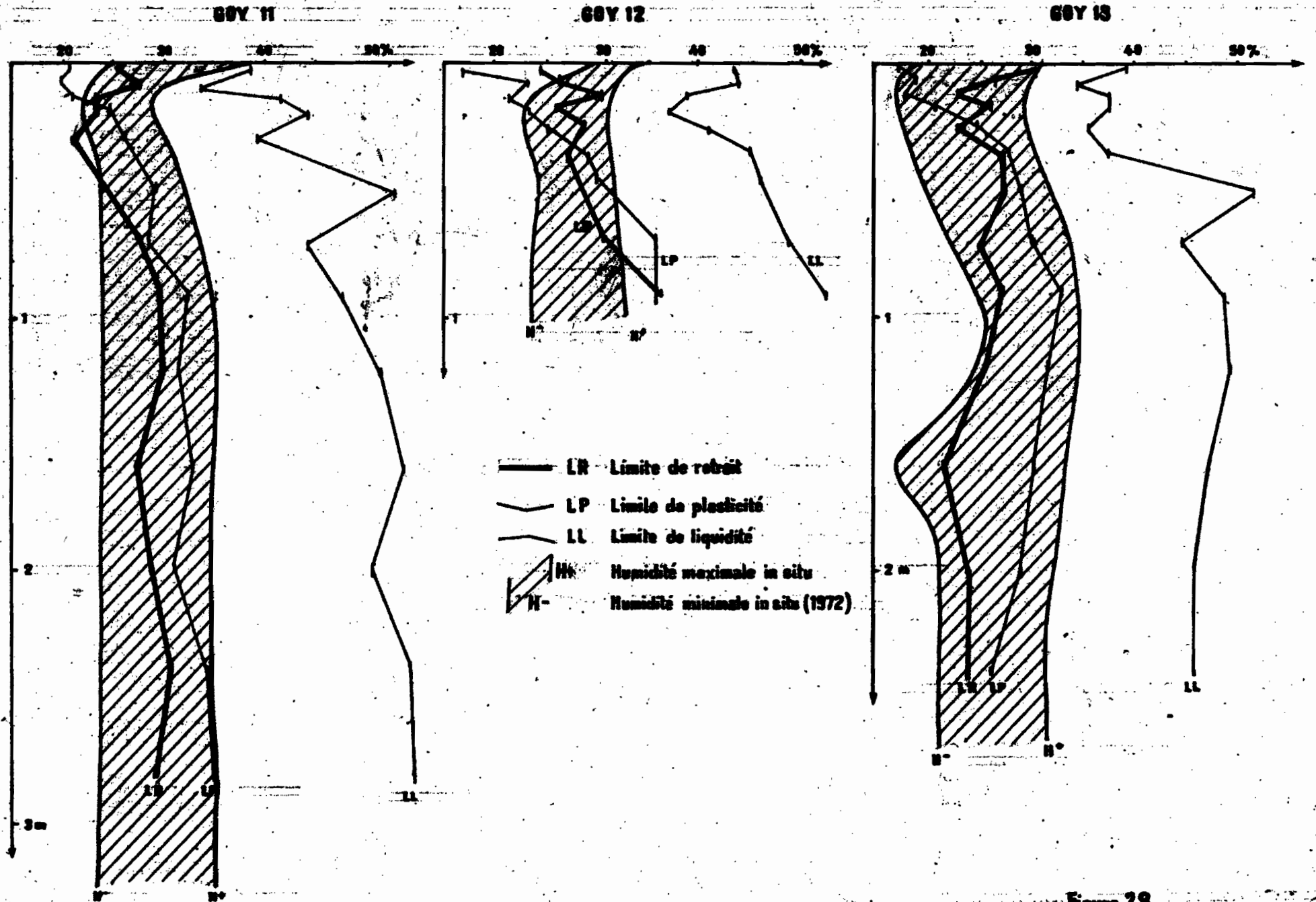


Figure 28

Les caractéristiques physiques étudiées reflètent ces particularités. Leur développement comparé est présenté ci-dessous pour le profil GOY 11 dans un tableau où Ho, Hc, Ha, B<sub>222</sub> et B<sub>3</sub> désignent les tranches de sol successives différenciées par leurs propriétés physiques, M.O. le taux de matière organique, H l'humidité, A l'aération,  $\Delta$  la porosité disputée entre l'air et l'eau, ap et av l'argile en expressions pondérale et volumique, Sq le taux de sables quartzeux, p la quantité de gros tubes assurant une perméabilité élevée, c<sup>o</sup> la compacité hors quartz, B l'activité de la faune et R. le retrait

GOY 11

Horizon	M.O.	H	$\Delta$	A	ap	av	Sq	p	c <sup>o</sup>	B	R
Ho	++	—	++	++	—	—	+	++	—	++	—
Hc		+	-	—		++		-	++	-	++
Ha		-		+	++	-	—		-	(+?)	+
B <sub>222</sub>						+			+		
B <sub>3</sub>	—	++	—	-	—	-	++		-	—	-

+ et - désignant un maximum et un minimum relatifs.

++ et — désignant le maximum et le minimum absolus.

On constate en résumé que :

- La densité apparente varie de 0,8 à 1,4 dans les horizons ferrallitiques meubles et de 1,1 à 1,8 dans le sol hydromorphe associé. La pression pédostatique atteint 1 bar à 6 m de profondeur en l'absence de cuirasse.

- La porosité totale est élevée, 56 % en moyenne pour la tranche meuble des sols de l'interfluve. Ses variations maximales, 65 et 50 % s'observent à la partie supérieure de ces profils. Dans le gley la porosité descend à 27 %. La "compacité hors quartz" varie de 0,18 à 0,38 dans les sols ferrallitiques et de 0,15 à 0,50 dans le sol hydromorphe du bas-fond. Elle présente deux maxima en GOY 11, profil typique et épais de sommet d'interfluve : l'un à la base de l'horizon compact, vers 50 cm de profondeur, l'autre autour de 3 m, là où abondent les "noyaux argileux". Ces deux maxima se répercutent sur la courbe d'argile volumique.

- D'après les mesures de perméabilité l'écoulement vertical de l'eau de gravité serait très rapide en surface puis brusquement ralenti dès 20 cm de profondeur malgré une macroporosité importante. Les horizons A présenteraient donc de nombreux pores ouverts

larges et communicants tandis que la macroporosité des horizons B serait formée de pores plus fins et peu communicants (assemblage de "pseudo-particules").

- La teneur pondérale d'argile est de 60-70 % dans les horizons B. Elle décroît à 40 % en surface et en profondeur en GOY 11 (horizon B3); cette seconde décroissance s'accompagnant d'une augmentation des limons. La teneur volumique d'argile est de 25-35 %. Le profil de pente GOY 13 présente des variations granulométriques dans ses horizons hydromorphes, avec apparition de graviers.

- La résistance à la pénétration d'une pointe est faible même dans l'horizon compact des sols ferrallitiques. Ses variations paraissent commandées plutôt par la teneur en squelette quartzéux que par la compacité et la dessiccation qui sont d'ailleurs peu accentuées.

- Le stock d'humidité en saison humide est de 2 m pour 5 m de sol meuble d'interfluve soit un taux moyen d'occupation de 40 % (70 % de la porosité totale). Sa variation saisonnière a atteint en 1972 400 mm mais elle est inégale selon le profil et la saison considérés et d'autres mesures sont nécessaires à la connaissance précise du régime saisonnier. Elle affecte au moins une épaisseur de 4 m et rejoint ainsi sur la pente la zone de battement de nappe.

- La saturation est pratiquement réalisée en saison humide à la base du sol en bas de séquence : la perméabilité latérale étant élevée à ce niveau (GOY 13) un écoulement oblique vers la nappe du talweg est prévisible et a pu d'ailleurs être observé lors du creusement de GOY 14. Ce flux, nettement concentré, ne tarit pas en saison sèche mais la nappe s'abaisse notablement.

- La capacité au champ dans ce milieu argileux à porosité fine et écoulement lent ne traduit pas une limite nette de comportement : en saison sèche l'humidité du profil correspond au pF 2,5 tandis qu'en saison des pluies elle est plus élevée de 15 % (75 % de la saturation totale). Le pF 4,2 n'a été ni atteint ni même approché au cours des saisons sèches en 1972.

- En sommet d'interfluve (GOY 11) l'aération varie en saison humide de 25 à 10 % dans le profil et en saison sèche de 45 à 20 %, le maximum correspondant à l'horizon A1 et le minimum à l'horizon compact sous-jacent. La porosité disputée entre l'air et l'eau décroît également de haut en bas avec un minimum relatif dans cet horizon compact. Sur la pente en GOY 13 l'aération décroît de haut en bas pour s'annuler vers 3 m de profondeur en sai-



son des pluies. Ce profil présente vers 2 m puis vers 4 m une texture un peu caillouteuse : les variations saisonnières d'humidité sont importantes dans la couche située à 2 m qui est structurée en polyèdres. Son rôle dans la dynamique de l'air n'est pas connu.

Les sols de cet interfluve ont une composition volumique équilibrée, soit en moyenne :

Squelette	15 %
Plasma	25 %
Eau	30 %
Eau puis air	10 %
Air	20 %
	<hr/>
	100 %

Cet équilibre est rompu aux dépens de l'air en bas de profil et en bas de séquence avec formation d'un flux latéral évacuant l'eau de gravité. L'apport pluvial est en grande partie absorbé grâce à la porosité des horizons A, et la faible perméabilité des horizons B assure à cette eau infiltrée un contact prolongé avec le plasma dans un milieu correctement aéré. Le brusque ralentissement du drainage à la base des horizons A dans un horizon relativement compact est un trait important de la dynamique actuelle qui pourrait être éclairé par une approche micromorphologique.

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

- AUDRY et al. 1973.- Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Bulletin du Groupe de Travail sur la Dynamique Actuelle. ORSTOM, Comité Technique de Pédologie, 126 p. + fiches techniques.
- BOCQUIER (G.), MULLER (J.P.) - 1973.- Les coupes du chemin de fer Transcamerounais de BELABO à NGAOUNDERE - Reconnaissance pédologique - ORSTOM-YAOUNDE, Ronéo. 40 p, 26 figures.
- BOURRIER (J.) - 1965.- La mesure des caractéristiques hydro-dynamiques des sols par la méthode Vergière. Bull. Techn. du Gen. Bur. n° 73, 96 p.
- HUMBEL (F.X.) - 1974.- La compacité de sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. Cah. ORSTOM. sér. Pédol., vol. XII, n° 1, pp. 73-101.-
- HUMBEL (F.X.) et PELLIER (J.L.) - 1969.- Porosité, densité et perméabilité de sols ferrallitiques rouge et jaune près de YAOUNDE. ORSTOM-YAOUNDE, ronéo. 28 pages.
- HUMBEL (F.X.), MULLER (J.P.), RIEFFEL (J.M.) - 1974.- Quantités de matière organique dans et sur quelques sols du domaine ferrallitique au Cameroun. ORSTOM-YAOUNDE, ronéo. 19 p.
- MULLER (J.P.) - 1974.- Introduction à l'étude de trois toposéquences situées entre GOYOUUM et DENG-DENG. ORSTOM-YAOUNDE, ronéo. 20 pages.
- MULLER (J.P.) - 1974.- Transport et accumulation de matière en domaine ferrallitique camerounais - Premières données morphologiques et interprétations. 20 p. + 7 planches - Multigr. ORSTOM-YAOUNDE.
- MULLER (J.P.) - 1974.- Morphologie des horizons supérieurs des sols ferrallitiques du GABON (appunités et épi-structichrons dyscrophes). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XII, 3 : 73-83.

P L A N :

Résumé.

su. /

1. INTRODUCTION (J.P. MULLER) .....	p. 5
2. LES FACTEURS DU <del>MILIEU</del> (J.P. MULLER) .....	p. 7
21 - Climat	
22 - Géologie	
23 - Végétation	
24 - Morphogenèse et pédogenèse	
3. ORGANISATION MACROMORPHOLOGIQUE DE LA SEQUENCE DE SOLS (J.P. MULLER) .....	p. 10
31 - Les sols ferrallitiques	
311 - Le domaine amont .....	p. 10
3111 - Sols rouges profonds à jaunisse- ment de haut de pente	
3112 - Sols rouges de mi-pente	
312 - Le domaine aval .....	p. 24
3121 - Sol rouge à hydromorphie de pro- fondeur du tiers inférieur de pente	
3122 - Sol rouge à hydromorphie de pro- fondeur très marquée	
3123 - Sol brun hydromorphe de rupture de pente	
32 - Le sol hydromorphe de bas-fond .....	p. 64
33 - Résumé - Conclusions - Interprétation sur l'organisation macromorphologique .....	p. 68
4. QUELQUES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET HYDRIQUES (F.X. HUMBEL) .....	p. 81
41 - Densités apparentes .....	p. 81
411 - Mesurées in situ avec un densitomètre à membrane	
412 - Comparaison avec d'autres mesures de densité apparente	
42 - Densité réelle, compacité-porosité, pression.	p. 84

43 - Dynamique saisonnière .....	p. 87
431 - Apport pluvial	
432 - Humidité (H) du sol et pF	
433 - Aération (A) du sol	
44 - Granulométrie .....	p. 92
441 - Expression pondérale	
442 - Expression volumique	
45 - Perméabilité .....	p. 93
451 - Méthode Müntz	
452 - Méthode directionnelle	
453 - Traitement des données	
46 - Pénétrométrie .....	p. 100
47 - Comportement mécanique .....	p. 101
48 - Résumé et conclusions .....	p. 102
BIBLIOGRAPHIE .....	p. 106