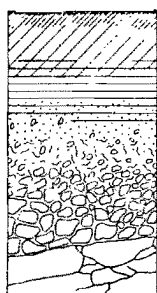


RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE DU CAMEROUN

FX. HUMBEL ET JL. PELLIER

SEPTEMBRE 1969

**POROSITÉ, DENSITÉ ET PERMÉABILITÉ
DE SOLS FERRALLITIQUES ROUGE ET JAUNE
PRÈS DE YAOUNDÉ**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE ORSTOM DE YAOUNDE



OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

REPUBLIQUE FEDERALE
DU
CAMEROUN

POROSITE, DENSITE ET PERMEABILITE DE SOLS FERRALLITIQUES
ROUGE ET JAUNE PRES DE YAOUNDE

par

F.X. HUMBEL (*) et J.L. PELLIER (**)

CENTRE ORSTOM
DE
YAOUNDE

SEPTEMBRE 1969

(*) Maître de Recherche.

(**) Chargé de Recherche Stagiaire.

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

	Pages
Introduction	1
I. <u>Les SOLS</u>	3
1.1. Situation	3
1.2. Milieu de formation	4
1.3. Description	4
II <u>EXPOSE DES METHODES</u>	5
2.1. Granulométrie et pH	5
2.2. Porosités	5
2.3. Densité réelle	5
2.4. Densité apparente in situ	6
2.5. Perméabilités	7
III <u>RESULTATS OBTENUS</u>	11
3.1. Granulométrie et pH	11
3.2. Porosités	12
3.3. Densité réelle	14
3.4. Densité apparente in situ	15
3.5. Perméabilités	18
IV <u>SYNTHESE</u>	24
4.1. Caractéristiques générales de la séquence	24
4.2. Différenciation du Sol Rouge et du Sol Jaune	26
4.3. Conclusions	27
BIBLIOGRAPHIE	28

INTRODUCTION

=====

Les sols Ferrallitiques de la région de YAOUNDE sont, depuis plusieurs années, l'objet d'études de caractérisation pédologique et de cartographie au 1/50.000e, sur le versant de la SANAGA au Nord (M. VALLERIE) et de part et d'autre de la ligne de partage des eaux avec le NYONG (J.L. PELLIER).

Sur une même roche-mère qui forme un vaste affleurement dans la région, sous climat et végétation uniformes, des variations pédologiques importantes en liaison avec le facteur topographique ont été observées. Elles concernent essentiellement la couleur.

En effet, si la majorité des sols de la région sont des sols Ferrallitiques Rouges, on observe sur la plupart des interfluvies une atténuation de cette couleur rouge au fur et à mesure qu'on s'éloigne du sommet pour se rapprocher du bas fond. Ainsi, dans le bassin de la SANAGA les sols passent du rouge à l'ocre, dans celui du NYONG du rouge au jaune.

Cependant les analyses chimiques courantes n'ont pas permis de différencier nettement ces profils de couleurs aussi différentes. Il a donc paru intéressant d'effectuer sur ces sols certaines déterminations physiques in situ et au laboratoire afin d'abord de les caractériser puis de différencier éventuellement sols rouges et sols jaunes développés sur une même roche-mère, sous même climat et même végétation.

Une séquence représentative, montrant le passage d'un sol rouge en haut de pente à un sol jaune de bas de pente a donc été choisie dans le bassin du NYONG.

Sur chacun de ces deux sols ont été effectuées les déterminations physiques suivantes : Granulométrie - Densités apparentes et réelles - Porosités - Perméabilités Münz et directionnelles (1).

(1) Les analyses granulométriques ont été effectuées au laboratoire de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. au Cameroun sous la direction de L. NALOVIC.

- Les mises au point méthodologiques sur la densité apparente in situ et les perméabilités directionnelles par F.X. HUMBEL
- Les mesures de densité et porosité au laboratoire selon les méthodes préconisées par le laboratoire de Physique des sols de BONDY par J.L. PELLIER.
- Les mesures de terrain par F.X. HUMBEL et J.L. PELLIER.

Dans ce rapport les sols étudiés sont d'abord situés dans leur cadre régional et local puis décrits. Un deuxième chapitre est consacré aux méthodes utilisées. Le troisième expose les résultats obtenus. Un essai de caractérisation et de différenciation de ces sols sera tenté dans le dernier chapitre.

CHAPITRE I

LES SOLS

1.1. SITUATION (Fig. 1)

Les deux profils étudiés sont situés sur la carte à l'échelle du 1/50.000 de YAOUNDE 4c qui participe à deux bassins versants, au Nord celui de la SANAGA au Sud le Bassin du NYONG :

Les études faites par VALLERIE (1967-1968) et par PELLIER (1968-1969) ont montré une succession de sols intéressante qui se répartissent en fonction de l'éloignement de la limite des deux bassins versants.

Dans le Bassin de la SANAGA on observe la succession suivante :

Sols Rouges Ferrallitiques.

Sols Rouges Ferrallitiques associés à Sols Ocres de Bas de pente.

Sols Rouges Ferrallitiques associés à Sols jaunes de Bas de pente.

Dans le Bassin du NYONG, on observe partout des Sols Rouges Ferrallitiques associés à des Sols jaunes de bas de pente : la part des sols jaunes prenant de plus en plus d'importance au fur et à mesure qu'on s'approche du NYONG.

Les deux profils étudiés font partie d'une même séquence qui se situe dans le bassin du NYONG à 16 km au Sud de la limite des Bassins Versants et à 35 km au Nord du NYONG.

Cette séquence se trouve à 7 km au Sud de YAOUNDE près de la route de MBALMAYO à hauteur du village de MEKA.

Les coordonnées sont les suivantes :

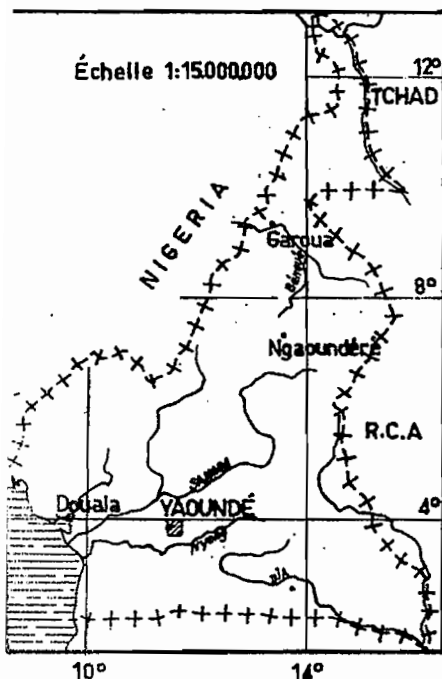
Latitude : 3° 46' 43" N

Longitude : 11° 31' 3" E

Les deux profils sont situés sur un interfluve large de 1 400 m, dont la dénivelée entre le sommet et le bas fond atteint 49 m.

PLANS DE SITUATION

Topographic map of Yaoundé, Cameroonian Republic, showing the city and surrounding areas. The map includes the city of Yaoundé, the Mfouou river, and the Afamba river. Key locations marked include Olembe, Mbala, Nkomo, Nkongoa, Mendong, Nkolafamba, Evovann, Dzouzok, Koukounou, Ofoumselek, and Élat. Elevation points are marked: 690m, 981m Méboa, 931m Mvé, 802m Denko, 711m, 688m, 733m, and 918m. The map also shows the 'Séquence étudiée' (studied sequence) and the 'MEKA' (Mekong River Basin) area. The scale is 1:200,000. The map is oriented with North at the top.



- | | |
|---|---------------------------|
|  | Sols rouges _ sols ocres |
|  | Sols rouges |
|  | Sols rouges _ sols jaunes |

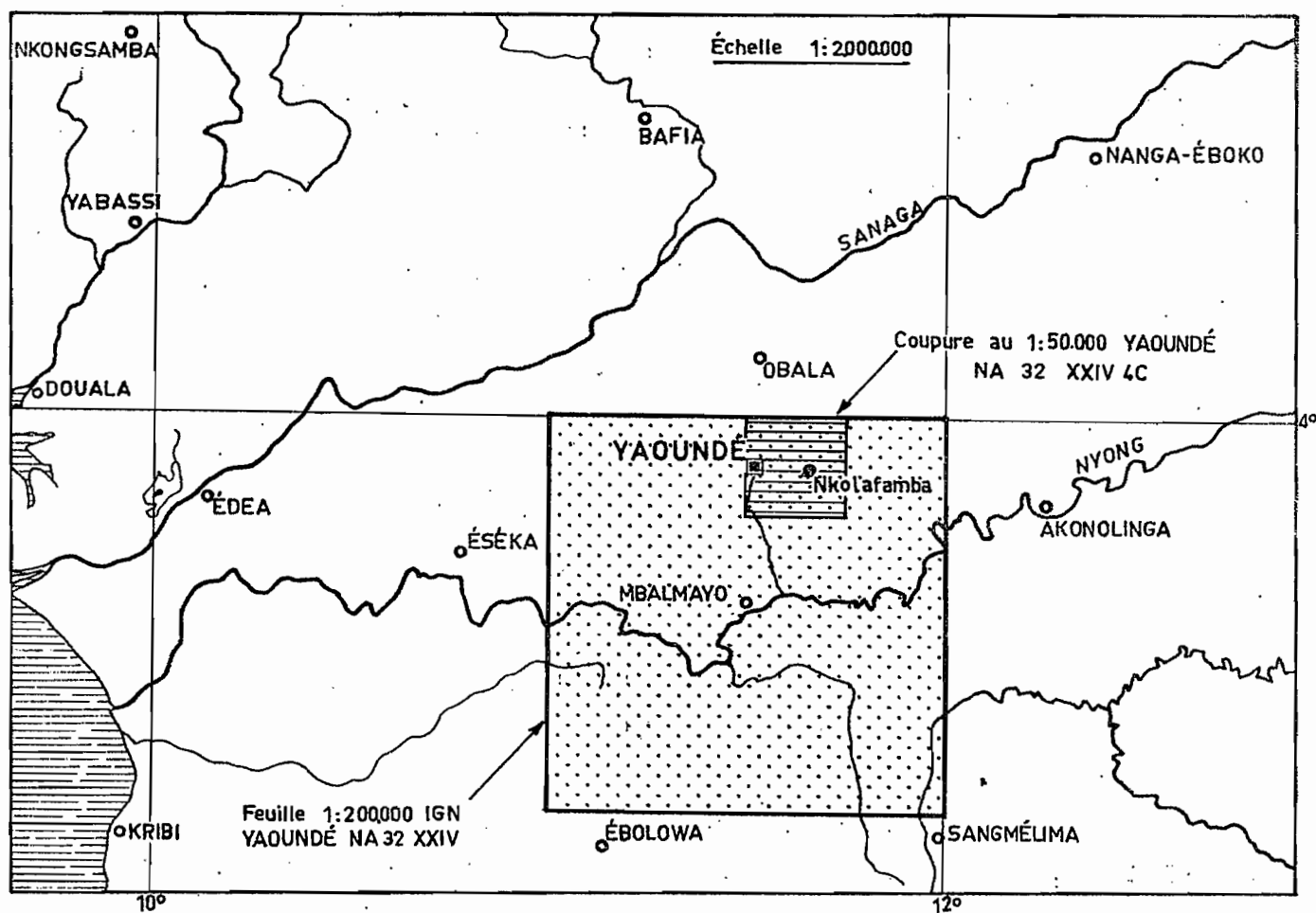
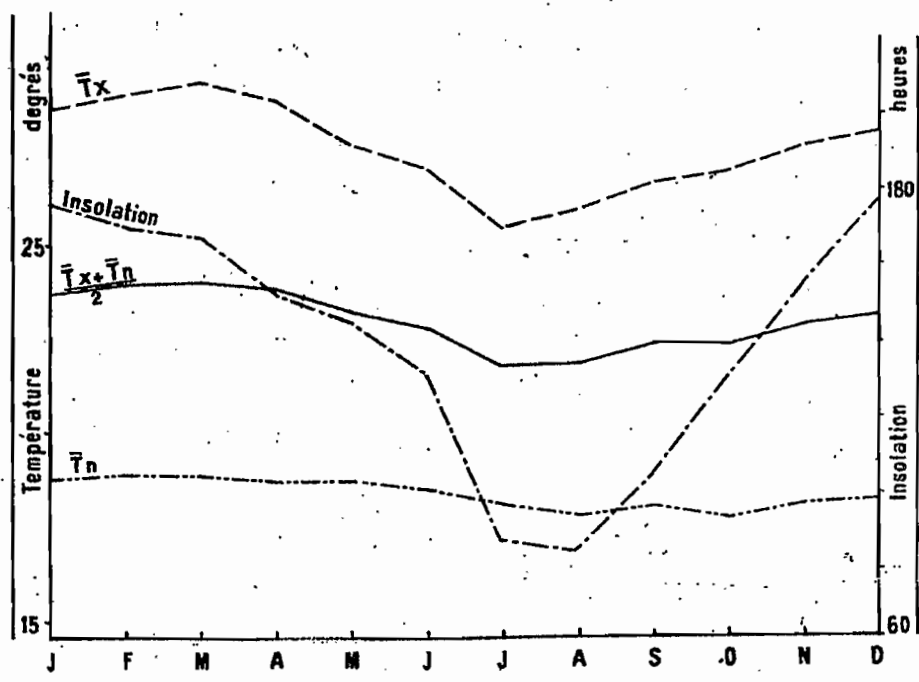
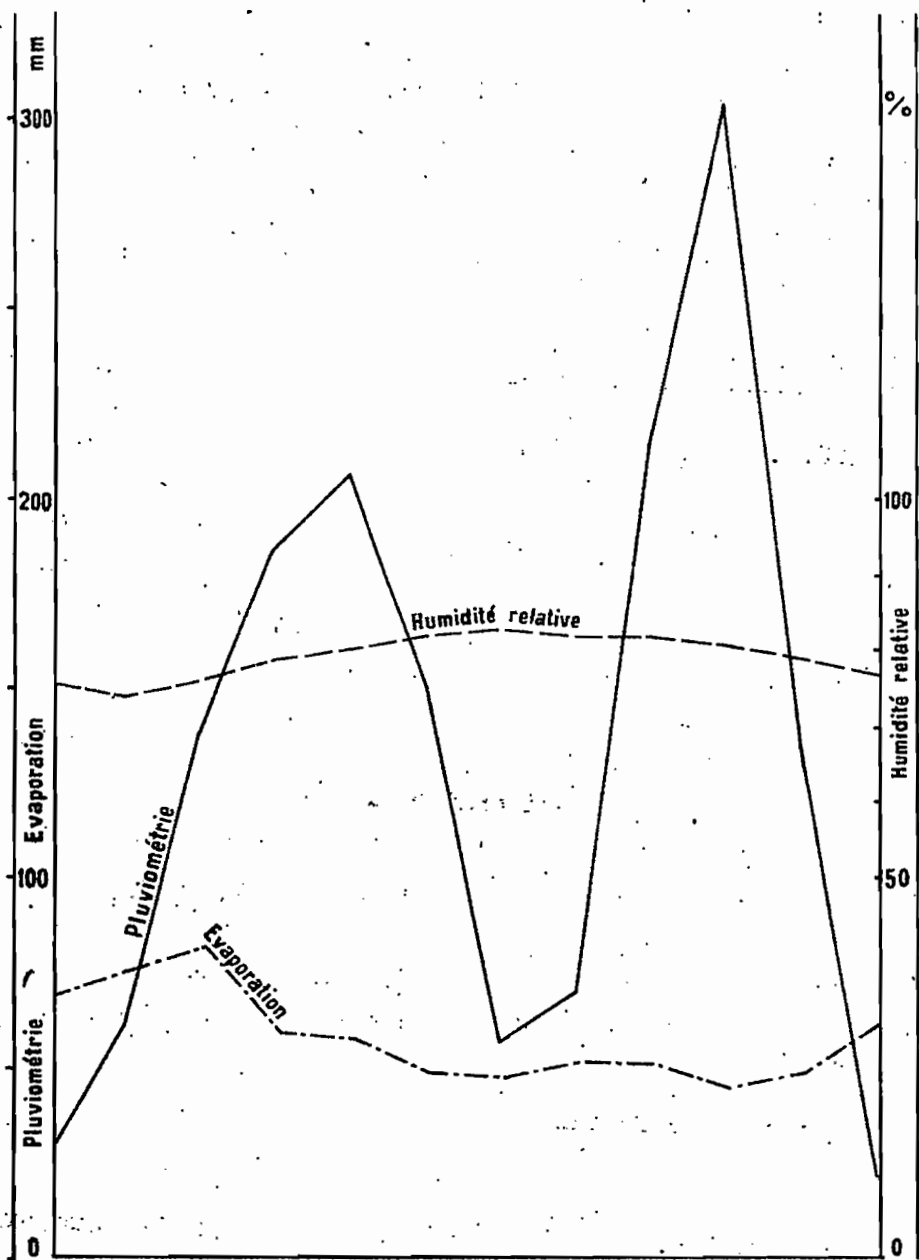


FIGURE 2

CLIMATOLOGIE



Le Sol Ferrallitique Rouge (MEKA 1) se trouve sur une pente de 4 %, à 700 m d'altitude ; le profil est à une distance de 330 m du sommet d'interfluve et à 300 m du bas fond.

Le Sol Ferrallitique jaune (MEKA 2) se situe sur une pente de 16 %, à une altitude de 672m; le profil est à une distance de 280 m du profil MEKA 1 et à 20 m du bas fond.

Le bas fond large de 30 m est à 667 m d'altitude.

1.2. LE MILIEU DE FORMATION

1.2.1. CLIMAT (Fig. 2)

Le climat de la région de YAOUNDE est de type subéquatorial. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1.576 mm, avec deux saisons des pluies et deux saisons sèches d'importances respectivement inégales, répartie en 140 jours de pluies.

La température moyenne annuelle est de 23°5 sans grandes variations saisonnières.

L'humidité relative varie peu autour de 80 %.

L'insolation est de l'ordre de 1.700 heures/an.

Ces conditions permettent le développement de Sols Ferrallitiques Fortement Désaturés (Classification - AUBERT - SEGALIN 1966).

1.2.2. ROCHE-MERE

Les formations géologiques de la région appartiennent toutes au socle ancien. Le faciès dominant est un gneiss ~~granatifère~~ à deux micas ou à biotite seule. Ce sont ces roches hétérogènes plus ou moins quartzieuses ou feldspathiques avec des lits de minéraux qui comprennent de la biotite, de la muscovite du grenat de l'amphibole et du disthène. Cette roche lorsqu'on a pu l'observer donne un matériau quartzo-feldspathique plus ou moins micacé.

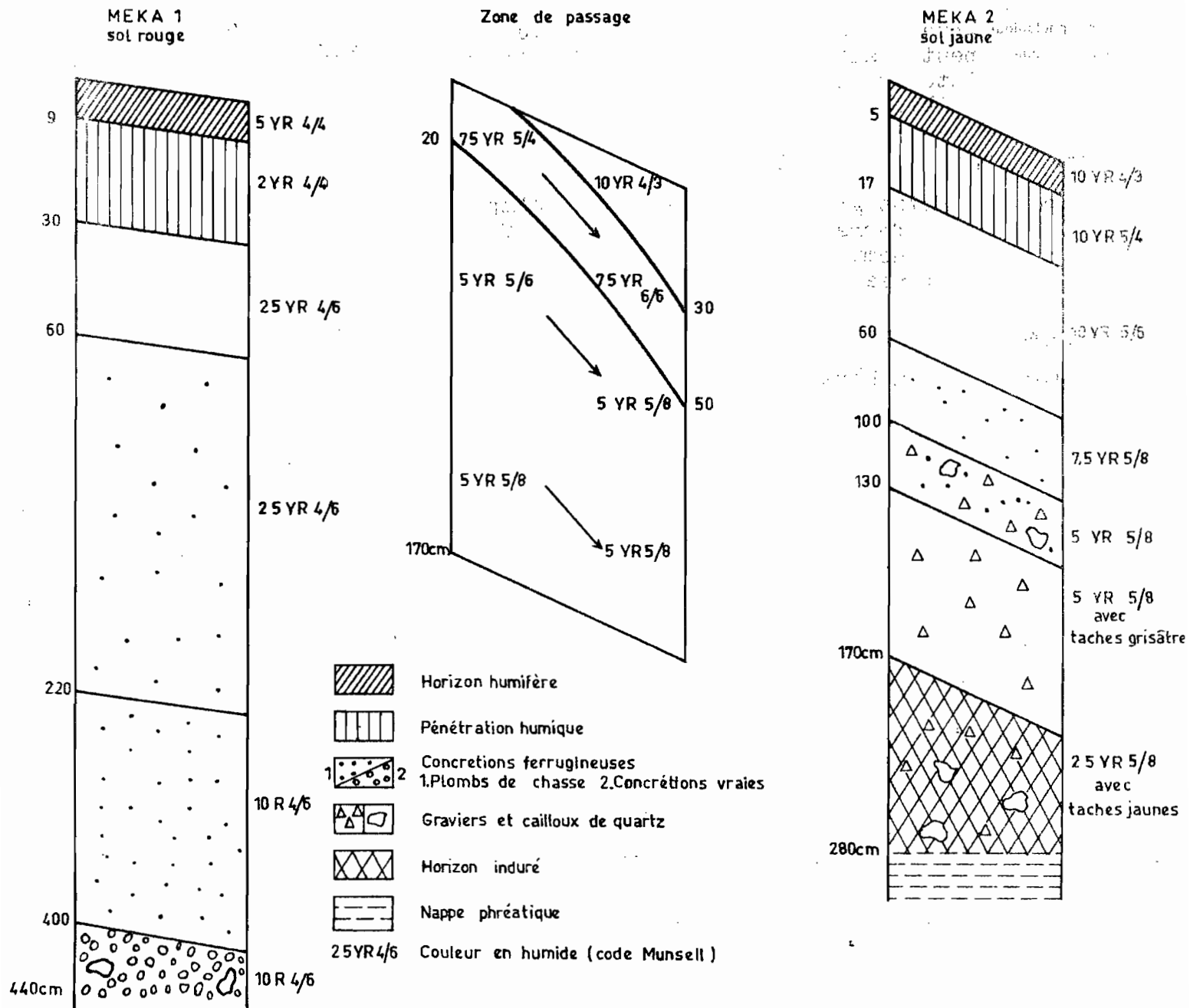
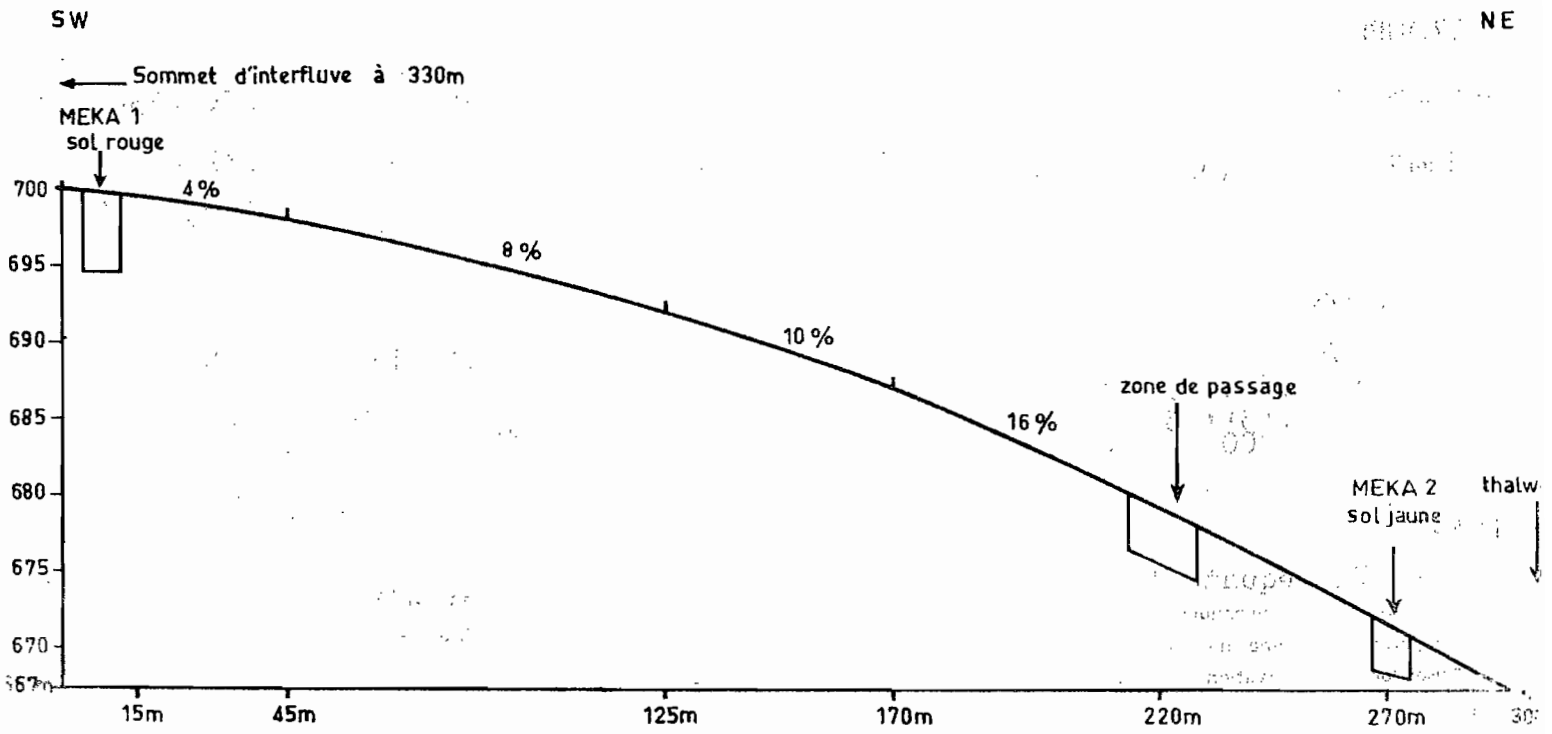
1.2.3. VEGETATION

La région est caractérisée par une forêt secondarisée ; on observe partout une végétation de forêt dégradée par les défrichements avec jachère forestière à tous les stades de reconstitution. Le Sous-bois le plus souvent très dense est difficilement pénétrable.

1.3. DESCRIPTION (Fig. 3).

FIGURE 3

TOPOSEQUENCE MEKA



DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	FERRALLITIQUE
SOUS-CLASSE	FORTEMENT DESATURE
GROUPE	TYPIQUE
SOUS-GROUPE	MODAL
Famille	MATERIAU QUARTZO-FELDSPATHIQUE
Série	

PROFIL

MEKA 1

Mission/Dossier : ORSTOM-Yaoundé

Observateur : PELLIER

Date d'observation : Août 1969

LOCALISATION

Lieu : MEKA	Document carto. : Yaoundé 4c 1/50000e
Coordonnées : 3°46'43" de Latitude	Mission I.G.N. :
11°31' 3" de Longitude	Photo aérienne : 487 de AEF 020, 51-52 NA32 XXIV
700 m d'Altitude	Photographie :

CLIMAT

Type : Sub-équatorial	Station : Yaoundé
Pluviométrie moyenne annuelle : 1576 mm	Période de référence : (1941-1967)
Température moyenne annuelle : 23°5	
Saison lors de l'observation : petite saison sèche d'été	

SITE

Géomorphologique : Interfluvès de 1500m de large de dénivelés supérieurs à 35m	
Topographique : pente faible à 330m du sommet d'interfluve et à 300m du bas fond	
Drainage : interne et externe bons	
Erosion : faible	Pente en % : 4 % NW

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : gneiss granatifère à 2 micas d'après carte géologique
Type et degré d'altération : ferrallitique, total et profond
Etage stratigraphique : complexe de base
Impuretés ou remaniements : néant.

VEGETATION

Aspect physiologique : jachère ancienne avec quelques grands arbres
Composition floristique par strate :

UTILISATION

Modes d'utilisation : néant	Jachère, durée, périodicité :
Techniques culturales :	Successions culturales :
Modèle du champ :	
Densité de plantation :	
Rendement ou aspect végétatif :	

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : faiblement ondulé
Edifices biologiques : pas de termitières épigées, quelques turricules de vers
Dépôts ou résidus grossiers : néant
Affleurements rocheux : néant

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Très large sur cette roche mère, associé à sols jaune de bas de pente type Méka 2

002218R 04

PROFIL
MEKA 1

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0-9 A ₁	Horizon brun-rouge 5 YR 4/4 humide texture sableuse; matière organique bien liée à la matière minérale; débris de charbons de bois et noix de palme. Structure polyédrique subangulaire fine moyen- nement développée; agrégats friables. Très poreux; nombreux interstices visibles et pores nombreux dus à l'activité de la faune. Bon enracinement de fines et moyennes racines. Limite tranchée.
		9-30 A ₃	Horizon brun-rouge 2,5 YR 4/4 humide. Taché par la matière organique. Texture argilo-sableuse avec débris de charbons de bois Structure polyédrique subangulaire moyenne à fine bien développée; agrégats friables. Porosité élevée interstices visibles et nom- breux pores dus à l'activité des termites, quel- canalicules Bon enracinement de moyennes racines. Limite tranchée.
		30-60 B ₁	Horizon rouge 2,5 YR 4/6 humide texture argileuse horizon légèrement plus compact. Structure polyédrique fine moyennement struc- turé, agrégats friables. luisances sur les faces des agrégats. Porosité tubulaire forte assurée par pores fins et nombreuses canalicules; quelques vésicules de 1 à 2cm de profondeur et de 1cm de diamètre. Bon enracinement Limite distincte.
		60-220 B ₂₁	Horizon rouge 2, YR 4/6 humide. Horizon légèrement compact. texture argileuse; quelques petites concrétions en plomb de chasse de 2 à 5mm de diamètre. Structure polyédrique fine assez bien développée, agrégats friables.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série	TYPIQUE MODAL GNEISS	PROFIL MEKA 1
---	---	----------------------

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		220-400 B ₂₂	Porosité d'interstices moyenne, tubulaire forte assurée par pores fins, quelques canalicules, activité des termites. Enracinement moyen. Limite distincte. Horizon rouge 10 R 4/6 humide Horizon un peu moins cohérent que les précédents Texture argileuse avec petites concrétions en plomb de chasse. Structure polyédrique fine peu développée, agrégats très friables; aspect fondu, interstices non visibles Porosité tubulaire élevée, nombreuses canalicules, activité forte des termites. Enracinement faible. Limite tranchée. 400-440 B₂₃ Horizon rouge 10 R 4/6 humide Horizon concrétionné à matière argileuse, avec rognons de quartz carié et ferruginisé de la taille des cailloux; concrétions de 0,5 à 2 cm de diamètre non cimentées entre elles; quelques paillettes de muscovite La matrice adhère fortement aux concrétions. Enracinement très faible.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL

MEKA 1

PROFIL										
MEKA 1										
	Horizon	9								HRZ
	Groupe	13								GR
	Sous-groupe	17								SG
	(Famille)	21								FM
	(Série)	25								SR
	(Région)	29								RG
	Numéro du sac	33	1750	1751	1752	1753	1754	1755		SAC
	Profondeur minimale en cm	37	0	9	30	60	220	400		PMI
	Profondeur maximale	41	9	30	60	220	400	440		PMA
Granulométrie en 10 ⁻²	Refus	45								REF
	Carbonate de calcium	49								CDC
	Argile	53	29.18	46.33	53.18	52.07	48.28	29.76		ARG
	Limon fin 2 à 20 µ	57	5.28	6.35	5.26	5.68	6.35	6.66		LMF
	Limon grossier 20 à 50 µ	61	4.70	5.00	4.00	4.45	4.60	4.85		LMG
	Sable fin 50 à 200 µ	65	18.20	15.65	12.30	13.75	12.05	11.85		SBF
	Sable grossier	69	41.10	27.35	25.35	24.70	30.00	48.40		SBG
		73	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10 ⁻³	Carbone	13	24.81	6.52						C
	Azote	17	1.86	0.70						N
	Acides humiques	21								AN
	Acides humiques bruns	25								ANB
	Acides humiques gris	29								ANG
Acidité	Acides fulviques	33								AF
	pH eau 1/2,5	37	4.7	4.9	5.2	4.9	5.5	5.2		PHE
	pH chlorure de potassium	41	3.9	4.0	4.1	4.0	4.3	5.0		PHA
Cations échangeables en mé	Calcium Ca ++	45								CAE
	Magnésium Mg ++	49								MGE
	Potassium K +	53								KE
	Sodium Na +	57								NEE
	Capacité d'échange	61								E
Acide phosphorique en 10 ⁻³	Phosphore total	65								PT
	Phosphore assim. Truog	69								PTT
		73	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
Éléments totaux (triacide) en 10 ⁻²	Phosphore assim. Olsen	13								PAO
	Phosphore ass. citrique	17								PAC
	Perte au feu	21								PRT
	Résidu	25								RSD
	Silice Si O ₂	29								SI
	Alumine Al ₂ O ₃	33								AL
	Fer Fe ₂ O ₃	37								FE
	Titane Ti O ₂	41								TI
	Manganèse Mn O ₂	45								MN
	Fer libre Fe ₂ O ₃	49								FEL
en mé	Calcium Ca ++	53								CA
	Magnésium Mg ++	57								MG
	Potassium K +	61								K
	Sodium Na +	65								NA
	Porosité en 10 ⁻²	69								PRS
Structure et caractéristiques hydriques		73	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5	13								PF2
	pF 3	17								PF3
	pF 4,2	21								PF4
	Instabilité structurale	25								IS
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Perméabilité	29								PMB
	Conductivité L en m-mho/cm	33								L
	Chlorures Cl ⁻	37								CL
	Sulfates SO ₄ ⁼⁼	41								SO4
	Carbonates CO ₃ ⁼⁼	45								CO3
	Bicarbonates HCO ₃ ⁻	49								HCO
	Calcium Ca ++	53								CAS
	Magnésium Mg ++	57								MGS
	Potassium K +	61								KS
	Sodium Na +	65								NAS
	extrait un dixième Conductivité L 1/10 en m-mho/cm	69								L 10
		73	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	FERRALLITIQUE
SOUS-CLASSE	FORTEMENT DESATURE
GROUPE	TYPIQUE
SOUS-GROUPE	JAUNE
Famille	MATERIAU QUARTZO-FELDSPATHIQUE
Série	INDURE A PARTIR DE 1,7m

PROFIL

MEKA 2

Mission/Dossier : ORSTOM-Yaoundé

Observateur : PELLIER

Date d'observation : Août 1969

LOCALISATION

Lieu : MEKA

Coordonnées : 3°46'43" de Latitude
11°31'13" de Longitude
672 m d'Altitude

Document carto. : Yaoundé 4c 1/50000

Mission I.G.N. :

Photo aérienne : 487 de AEFO-20, 51-52 KA 32 XLV

Photographie :

CLIMAT

Type : Sub-équatorial

Pluviométrie moyenne annuelle : 1576mm

Température moyenne annuelle : 23°5

Selon lors de l'observation : petite saison sèche d'été

Station : Yaoundé

Période de référence : (1941-1967)

SITE

Géomorphologique : Interfluve de 1500m de large de dénivelés supérieurs à 35m bassin

Topographique : du Nyong) à 610m du sommet d'interfluve, 280 m de MEKA et à 20m du

Drainage : externe bon, interne moyen

Erosion : faible

Pente en % : 16 %

MATERIAU ORIGINAL

Nature lithologique : Gneiss granatifère à 2 micas d'après carte géologique

Type et degré d'altération : ferrallitique, total et profond.

Etage stratigraphique : Complexe de base.

Impuretés ou remaniements : Cailloux de quartz épars

VEGETATION

Aspect physiognomique : jachère ancienne, manioc, marantacés, anthocleista, parasoliers

Composition floristique par strato :

UTILISATION

Modes d'utilisation : néant

Techniques culturales :

Modèle du champ :

Densité de plantation :

Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :

Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : irrégulier par ancienne pratiques culturales et abattis d'arbres.

Edifices biologiques : pas de termitières épigées, quelques turricules de vers,

Dépôts ou résidus grossiers : néant

Affleurements rocheux : néant

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Bas de pente des inter-fluves du bassin du Nyong, associé à des sols Ferrallitiques rouges.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série	TYPIQUE JAUNE GNEISS	PROFIL MEKA 2
---	---	-------------------------

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0-5 A ₁	Horizon brun 10 YR 4/3 humide liaison matière organique avec la matière minérale moyenne sables blancs visibles. Texture sableuse
		5-17 A ₃	Structure polyédrique subangulaire fine peu développée agrégats très friables. Porosité élevée d'interstices et tubulaire forte. Chevelu radicellaire et abondant. Limite brutale. Horizon brun-jaune 10 YR 5/4 humide. Texture sablo-argileuse, quelques débris de charbon de bois. Structure polyédrique subangulaire fine moyennement développée, agrégats friables. Porosité élevée d'interstices et tubulaire, nombreux pores moyens et fins, nombreuses canalicules et visicules; très travaillé par la faune. Bon enracinement de fines, moyennes et grosses racines. Limite tranchée.
		17-60 B ₁	Horizon brun-jaune 10 YR 5/6 humide. Texture argilo-sableuse, horizon légèrement tassé Structure polyédrique subangulaire très fine moyennement développée, agrégats friables. Porosité d'interstices moyenne, porosité tubulaire forte assurée par fins, moyens et gros pores; luisances dans les gros pores. Bon enracinement de fines et moyennes racines. Limite distincte.
		60-100 B ₂₁	Horizon brun soutenu 7,5 YR 5/8 humide. Texture argileuse; quelques petites concrétions en plomb de chasse.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série	TYPIQUE JAUNE GNEISS	PROFIL MEKA 2
---	---	----------------------

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
			Structure polyédrique fine peu développée, agrégats friables. Porosité d'interstices faible, porosité tubulaire assurée par fins pores.
		100-130 B 22	Enracinement moyen de fines et moyennes racines. Limite distincte. Horizon Rouge-jaune 5 YR 5/8 humide Horizon bouillant. Texture argileuse avec petites concrétions en plomb de chasse et gravier de quartz. Structure polyédrique fine peu développée, agrégats friables à très friables. Porosité tubulaire assurée par fins et moyens pores Enracinement faible. Limite tranchée.
		130-170 B 23 g	Horizon Rouge-jaune 5 YR 5/18 avec taches grisâtres. Texture argilo-sableuse à sables grossiers, graviers de quartz.
			Structure polyédrique fine peu développée, agrégats friables. Porosité assurée par pores et canalicules. Enracinement faible. Limite tranchée.
		170-280 B25m	Horizon rouge 2,5 Y 5/8 avec taches jaunes. Horison moyennement induré. Matrice à texture argilo-sableuse, graviers et cailloux de quartz. Débits polyédriques, fermes. Porosité grossière. Quelques fines racines.

CHAPITRE II

EXPOSE DES METHODES

2.1. GRANULOMETRIE pH

Les analyses mécaniques ont été réalisées par dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium et prélèvements à la pipette ROBINSON.

Les pH ont été relevés au potentiomètre.

2.2. POROSITES SUR MOTTES

La méthode de mesure de la porosité sur mottes employée est la méthode Rennie modifiée. Le principe de cette mesure consiste à déterminer le pourcentage de volume de vides contenue dans une motte de terre.

Une motte de 20 à 35 cm³ de volume est placée dans une fine nacelle puis pesée, soit p₁. Elle est placée dans un bain de pétrole, à l'intérieur d'un dessiccateur dans lequel on fait le vide afin de permettre la saturation des pores par le pétrole : puis on pèse la motte soit p₂. On détermine enfin le volume de la motte par pesée dans le pétrole soit p₃.

$$\text{Porosité} = \frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_3} \times 100$$

Chaque mesure est la moyenne des résultats obtenus sur deux mottes. La différence maximum entre deux résultats n'a pas dépassé 3 %.

La porosité a été également calculée à partir des densités réelles (D) et des densités apparentes in situ (D') suivant la formule :

$$\text{Porosité} = \frac{D - D'}{D} \times 100$$

Les valeurs de porosités obtenues par ce calcul sont systématiquement plus élevées de 6 à 20 % suivant les horizons que celles obtenues lors des déterminations de porosité sur mottes.

2.3. DENSITES REELLES

Les déterminations de la densité réelle ont été faites à l'aide de pycnomètre. Le pycnomètre est un récipient en verre d'une capacité de 50 cm³ environ dont on détermine avec précision le poids et

le volume en le remplissant d'eau. De la terre tamisée à 2mm et séchée à l'étuve à 105° est introduite dans le picnomètre et pesée. Le picnomètre contenant la terre est remplie d'eau puis pesé.

Le poids de terre = poids du picnomètre contenant la terre moins le poids du picnomètre vide.

Le volume de terre = volume du picnomètre moins le volume d'eau ajouté pour compléter le picnomètre.

$$\text{On'en tire la densité réelle } D = \frac{\text{Poids de terre}}{\text{Volume de terre}}$$

trois répétitions ont été effectuées sur chaque échantillon. Les résultats sont très proches, différence maximum de 0,08.

2.4. DENSITES APPARENTES IN SITU

Trois méthodes de mesure du poids spécifique apparent des horizons en place ont été essayées :

- 1/. Pesée d'un volume connu d'horizon (prélevé par un cadre métallique cubique (1) lubrifié et enfoncé latéralement par un cric).
- 2/. Creusement d'une cavité dont on pèse les matériaux extraits et dont on mesure le volume avec du sable jaugé.
- 3/. Densitomètre à membrane.

Les calculs d'incertitude effectués indiquent une meilleure précision pour le densitomètre à membrane. Cet appareil a d'autres avantages :

- rapidité des mesures (25 par jour sur profil aménagé en marches hautes de 50 cm) ;
- possibilité de mesurer la densité de minces horizons (3 cm minimum) ;
- s'applique à des terrains de toute dureté, carapace, roche (sauf probablement aux sables bouillants ?).

C'est donc avec cet appareil que les densités in situ rapportées ici ont été mesurées (voir photo Fig. 4).

(1) Tôle galvanisée de 15/10è à bord coupant - côté du cube 15,8 cm - l'échantillon sort ensuite à une mesure de perméabilité horizontale ; c'est pourquoi ces cadres ont été préférés au carottiers cylindriques de mesure plus coûteux et de volume réduit.

Principe du densitomètre à membrane

Un piston, dont les déplacements sont repérés, pousse l'eau d'un cylindre vertical vers une membrane élastique qui épouse la forme d'une cavité creusée dans le sol. Les matériaux extraits sont pesés humides. Leur volume est donné par différence entre le repère initial et final du piston. Enfin le dosage de l'humidité contenue dans un échantillon de terre placé en boîte étanche permet ensuite de calculer la densité du sol sec.

Un manomètre indique la pression exercée par la membrane. La pression optimum est celle pour laquelle on obtient une résistance élastique des parois de terre. L'opérateur la perçoit aisément, la courbe pression - volume la confirme. La pression optimum diffère selon les types de sols ou d'horizons. Le temps d'application de celle-ci doit en outre être court et régulier.

L'incertitude absolue sur la mesure est de $0,02 \text{ g/cm}^3$.

L'incertitude relative est de 2 à 4 % selon l'importance de la cavité, elle-même limitée par l'épaisseur de l'horizon. (Pour les horizons peu épais le repère volumétrique final de l'un a été utilisé comme repère initial de l'horizon sous jacent).

2.5. PERMEABILITES

1/ PERMEABILITE MUNZ (METHODE BÜRGER MODIFIEE PIOGER)

Les perméabilités Münz ont été mesurées sous une charge d'eau de 3 cm et à une température de 20 à 22°. La section du cylindre (ou cadre-parallélépipédique) de mesure a été choisie de 50 à 500 cm^2 selon la vitesse d'infiltration afin d'obtenir une consommation en eau raisonnable. Le cylindre de garde variait alors de 500 à 2.800 cm^2 . A la surface des fortes pentes, pour éviter de trop grandes variations d'épaisseur de la charge, des cadres longs et étroits placés perpendiculairement à la plus grande pente ont été utilisés.

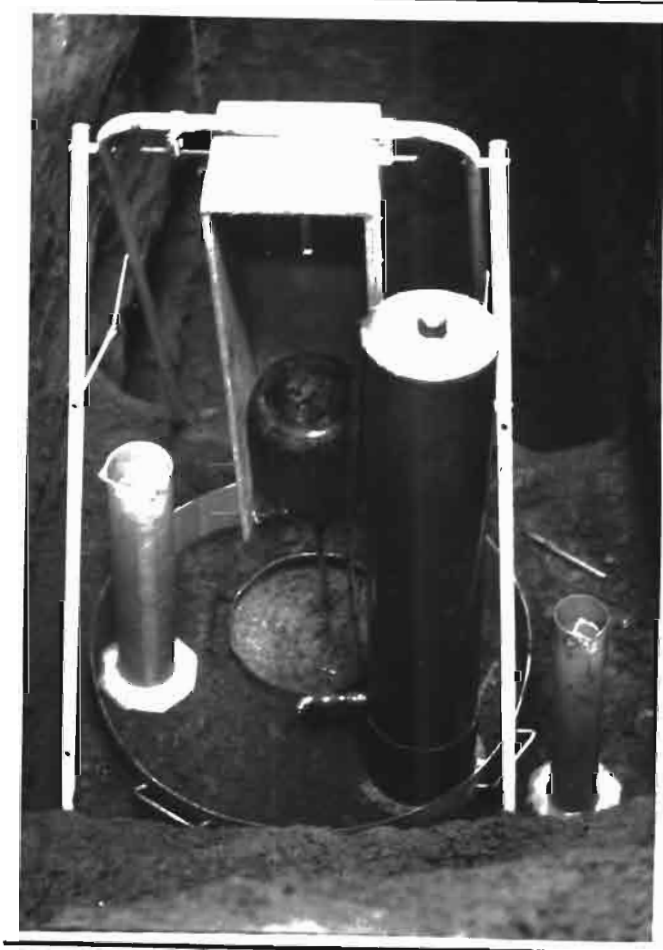
Une flacon de MARIOTTE indiquait le débit de l'eau infiltrée et maintenait la charge constante. L'alimentation en eau du cylindre de garde était confiée à une personne qui en réglait soigneusement le niveau directement par le robinet du réservoir.

Aucune correction de température n'a été effectuée sur les débits obtenus.

DENSITOMETRE A MEMBRANE



PERMEABILITES MUNZ



2/ PERMEABILITES DIRECTIONNELLES

PRINCIPE : Un cadre métallique (1) à base coupante, graissé sur ses faces latérales pénètre l'horizon dans une direction dont on veut mesurer la conductivité à l'eau. Pour la perméabilité horizontale c'est un oric prenant appui sur l'autre paroi du trou qui est utilisé (enfonce-ment par pression), pour la perméabilité verticale c'est une masse agis-sant par l'intermédiaire d'un chevron (enfonce-ment par percussion). Le cadre rempli de terre est alors sorti de l'horizon, les bases de l'é-chantillon sont nivelées (par petits arrachements à l'aide d'un ciseau à bois), la base inférieure dépassant de quelques millimètres du cadre, sa base supérieure creusée au contraire de 4 cm environ.

On humecte ensuite l'échantillon de bas en haut dans un seau d'eau pour en chasser l'air. Puis les 4 côtés verticaux sont colmatés par trempage dans un mince bain de paraffine. Cette opération est généralement superflue dans ce type de sol sauf si de légers changements de direction se sont produits pendant l'enfoncement du cadre. Une grille moustiquaire ou une coiffe en tissu plastique moustiquaire ou tout autre système peut être utilisé pour maintenir la terre à la base de l'échantillon mais il n'a pas été non plus nécessaire dans ces terrains.

L'échantillon de terre ainsi préparé et solidaire de son cadre métallique est alors soumis à une charge d'eau maintenue constante par un flacon de Mariotte servant à mesurer le débit infiltré. L'échantillon a souvent été placé en outre sur un récipient de section un peu inférieure (2) qui recueille une fraction de l'eau percolée. Cette opération qui permet de déceler un éventuel effet de bordure, donne aussi une autre mesure de perméabilité (compte tenu du rapport des sections) con-sidérée comme plus exacte (tassement par adhérence le long des parois du cadre lors de l'enfoncement et colmatage par la paraffine).

La loi de DARCY a été considérée comme applicable dans cette expérience : Si Q est le volume percolé en une heure (régime permanent atteint) S la section de mesure, e la charge d'eau, h la hauteur de

(1) Parallélépipèdes (hauteur 20 cm) ou cubes (côté 15,8 cm) de section 250 cm² en tôle galvanisée de 15/10è.

(2) Si l'on opère avec un cylindre de 500 cm² de section, l'eau percolée a été recueillie dans un pluviomètre de 400 cm², placé coaxialement. Lorsque l'on a opéré avec un cadre parallélépipédique de section 250 cm², le recueil s'est effectué dans un récipient également paral-lélépipédique de 200 cm² de section (hauteur 30 cm soit une contenan-ce de 6 l).

l'échantillon, μ_t la viscosité de l'eau à la température de l'expérience et μ_{20} celle à 20° on obtient le coefficient K de conductivité hydraulique de l'échantillon par :

$$K = \frac{Q}{S} \frac{h}{h + e} \frac{\mu_t}{\mu_{20}}$$

K, qui a les dimensions d'une vitesse, a été exprimé ici en cm/h pour le comparer utilement aux intensités des averses.

Les rapports de viscosité qui ont été utilisés dans les calculs de perméabilité directionnelle sont :

$\mu_{21}/\mu_{20} = 0,976$	$\mu_{26}/\mu_{20} = 0,869$
$\mu_{22}/\mu_{20} = 0,953$	$\mu_{27}/\mu_{20} = 0,850$
$\mu_{23}/\mu_{20} = 0,931$	$\mu_{28}/\mu_{20} = 0,831$
$\mu_{24}/\mu_{20} = 0,910$	$\mu_{29}/\mu_{20} = 0,814$
$\mu_{25}/\mu_{20} = 0,889$	$\mu_{30}/\mu_{20} = 0,797$

Cas des horizons peu épais : Aucun procédé permettant de mesurer la conductivité hydraulique verticale d'horizons dont l'épaisseur était inférieure à 10 cm n'a été essayé. Par contre leur perméabilité horizontale a pu être déterminée en plaçant l'échantillon non plus sur un récipient unique de recueil mais sur un "séparateur" conduisant à des flacons différents l'eau transmise par différentes sections de la base de l'échantillon (HUMBEL).

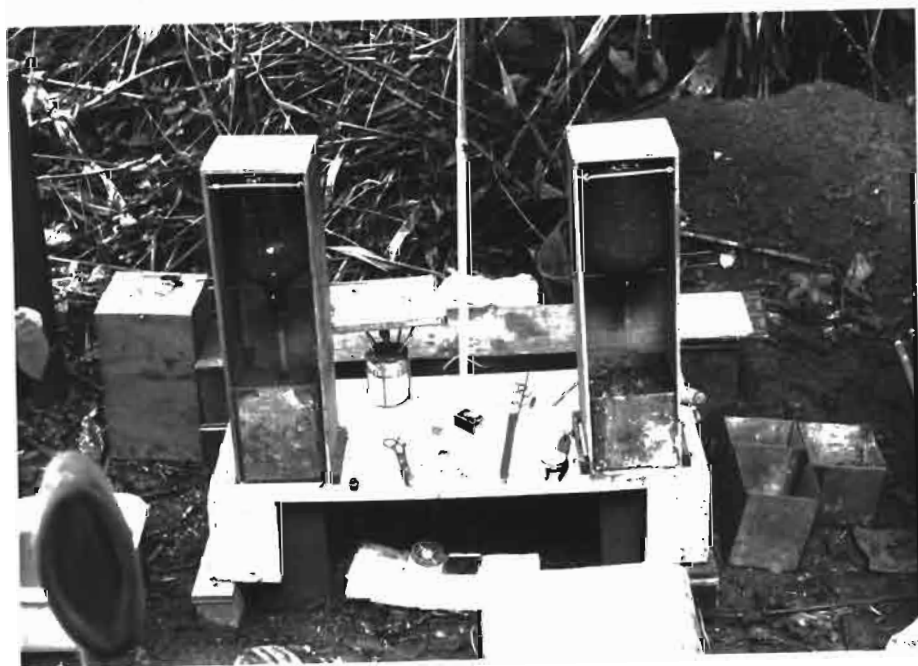
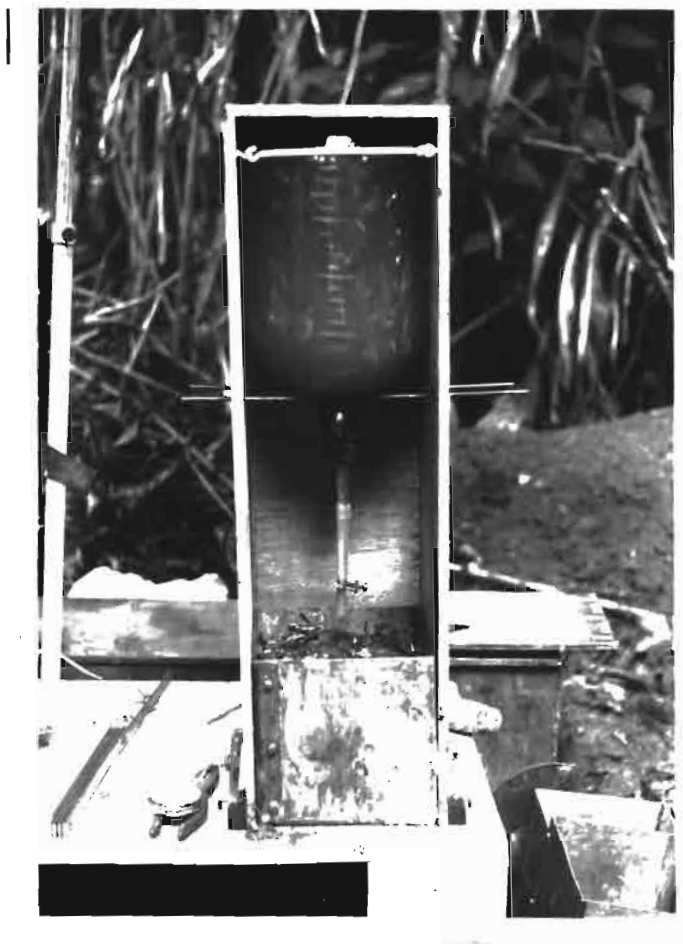
Cette base doit s'imprimer légèrement dans le séparateur pour éviter des déplacements latéraux des filets d'eau percolés avant leur chute.

Critiques de la Méthode

L'inconvénient principal de ces mesures de perméabilité réside dans la diversité des surfaces de mesure : 64 à 500 cm². Or les études en cours (HUMBEL) à l'aide du séparateur (constitué de 16 compartiments élémentaires de 16 cm² de section chacun) montrent une très grande hétérogénéité de la conductivité hydraulique d'un élément de sol à l'autre. Les résultats obtenus sur de grandes sections (500 cm² par exemple) ont donc plus de chance d'approcher les chiffres de perméabilité moyenne.

En opérant avec le séparateur cependant on peut faire, dans la transmission de l'eau, la part due à la "perméabilité en petit" et la part due à la "perméabilité en grand", la première intervenant plutôt sur les échanges et les altérations, la seconde sur l'infiltration des

PERMEABILITES DIRECTIONNELLES



eaux. Il est toutefois nécessaire d'éliminer dans les résultats de perméabilités élémentaires obtenus avec le séparateur certaines valeurs élevées dues à des portions continues de gros tubes traversant l'échantillon de part en part (forcément limités vers le bas dans le sol en place ces tubes n'y assurent pas un écoulement comparable à celui que l'on mesure).

C H A P I T R E I I I

R E S U L T A T S O B T E N U S

3.1. GRANULOMETRIE ET pH (Fig. 5)

3.1.1. GRANULOMETRIE

Dans le profil MEKA 1 (sol rouge) le pourcentage d'argile qui est de 30 % dans l'horizon humifère oscille autour 50 % entre 9 et 400 cm pour redescendre à 30 % dans l'horizon concrétionné. Le pourcentage de limon est de 10 % dans tout le profil. Le pourcentage de sable atteint 60 % dans l'horizon humifère de même que dans l'horizon concrétionné. Ailleurs il oscille autour de 40 %.

Dans le profil MEKA 2 le pourcentage d'argile est de 16 % dans l'horizon humifère puis augmente à 32 % dans l'horizon sus-jacent 5 - 17 cm. De 17 à 130 cm il reste très constant 42 % puis diminue en profondeur, 33 % de 130 à 170 cm et 28 % de 170 à 180 cm. Le pourcentage de limon est de 10 % entre 0 et 130 cm et augmente à 15 % entre 130 et 170 cm puis 20 % entre 170 et 280 cm. Le pourcentage de sable élevé en surface 73 % dans l'horizon 0-5 et 57 % dans l'horizon 15-17 cm s'établit autour de 47 % entre 17 et 130 cm et augmente à 54 % entre 130 et 280 cm.

On remarque donc que :

1) Le pourcentage d'argile est toujours plus élevé en MEKA 1 qu'en MEKA 2.

2) Que l'appauvrissement atteint une plus grande profondeur en MEKA 2 qu'en MEKA 1 : 17 cm contre 9 cm.

3) Que les horizons B₂fe montrent dans les deux profils un appauvrissement en argile.

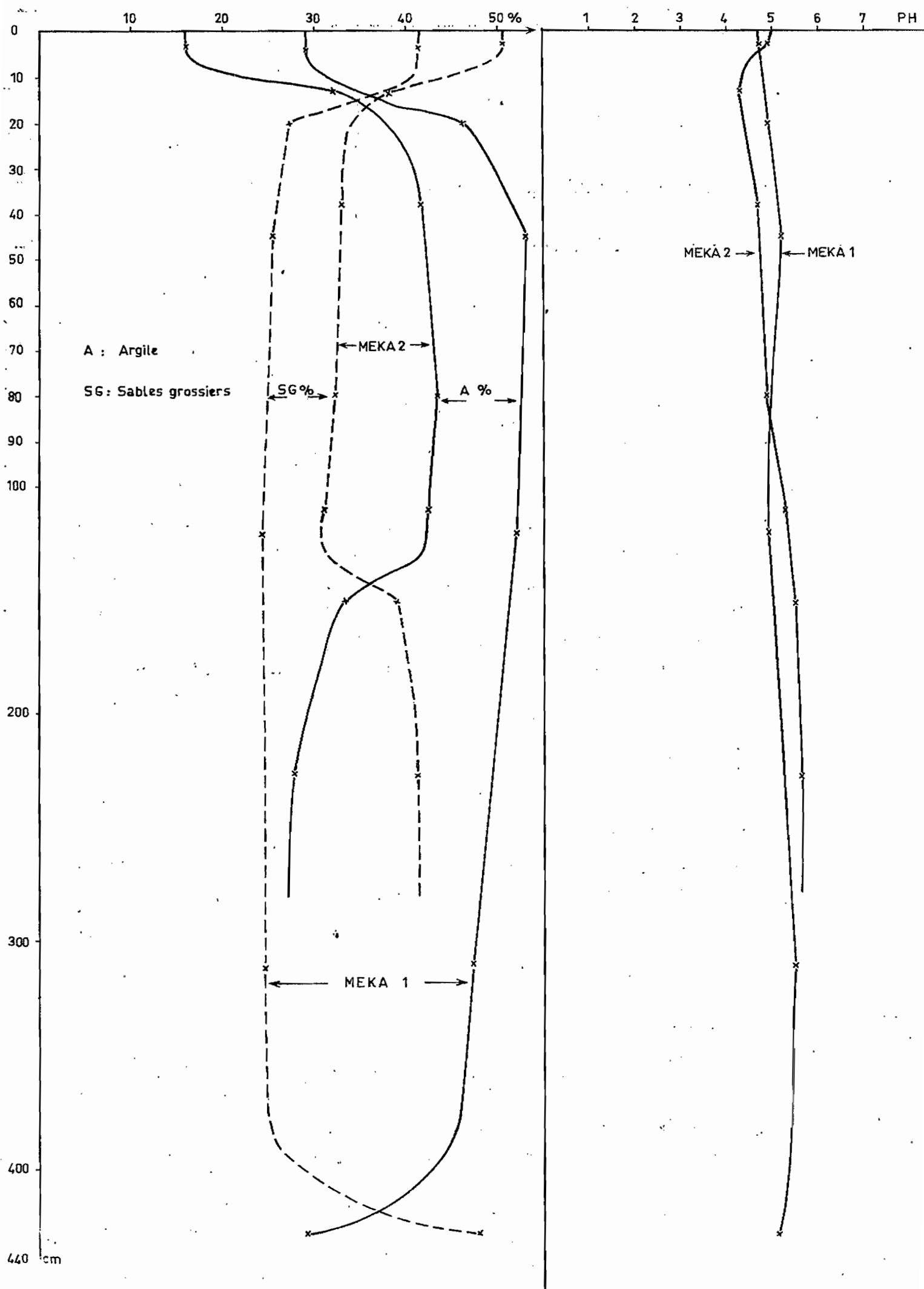
3.1.2. pH

Dans le profil MEKA 1 les pH sont toujours inférieurs à 5,5. Ils sont inférieurs à 5 dans les horizons de surface (4,7 dans l'horizon 0-9). Ils s'établissent autour de 5 dans les horizons sous-jacents avec en maximum de 5,5 dans l'horizon 220-400 cm.

Dans le profil MEKA 2 les pH sont également inférieurs à 5,5 et sont toujours plus bas dans les horizons de surface qu'en profondeur.

FIGURE 5

GRANULOMETRIE ET PH



Il faut noter que c'est dans l'horizon 5-17 situé juste sous l'horizon humifère que le pH est minimum 4,3 contre 4,9 en surface - les pH augmentent ensuite régulièrement jusqu'en profondeur pour atteindre 5,5.

On remarque donc que :

- 1) Les pH sont inférieurs à 5,5 dans les deux profils.
- 2) Les pH en surface sont inférieurs à 5 et ceci jusqu'à 100 cm en MEKA 2 et seulement jusqu'à 17 cm en MEKA 1.
- 3) Dans MEKA 2 (sol jaune) on observe un minimum de pH juste sous l'horizon humifère. Le résultat est en concordance avec ceux obtenus dans la région par PELLIER (Juin 1969).

3.2. POROSITE

3.2.1. POROSITE MESUREE SUR MOTTES

Deux répétitions ont été effectuées sur chaque échantillon. Les tableaux I et II indiquent la moyenne des résultats obtenus.

Dans le profil MEKA 1 (sol rouge) la porosité, qui est de 46 % dans l'horizon humifère, passe par un minimum de 40 % de 10 à 25 cm de profondeur puis par un maximum de 49 % de 1 à 1,5 m.

Dans le profil MEKA 2 (sol jaune) la porosité, qui est de 44 % dans l'horizon humifère, passe également par un minimum de 40 % de 10 à 25 cm de profondeur puis par un maximum de 44 % vers 1 m de profondeur. Elle se stabilise ensuite à 41 %.

On remarque donc que :

- 1/ Dans ces deux profils les courbes de porosité suivent le même mouvement mais que l'amplitude des variations est plus élevée en MEKA 1 (9 %) qu'en MEKA 2 (5 %). (Voir figure 6).
- 2/ Le sol rouge présente dans tous ses horizons une porosité plus élevée que le sol jaune (écart moyen 2,7 %). La différence, qui est négligeable près de la surface devient maximum vers 1 m de profondeur (5 %).

3.2.2. POROSITE CALCULEE A PARTIR DES DENSITES

Ces chiffres de porosité sont nettement plus élevés que les précédents. Ils ont été calculés à partir de la densité apparente me-

TABLEAU I
Densités et Porosités
MEKA 1

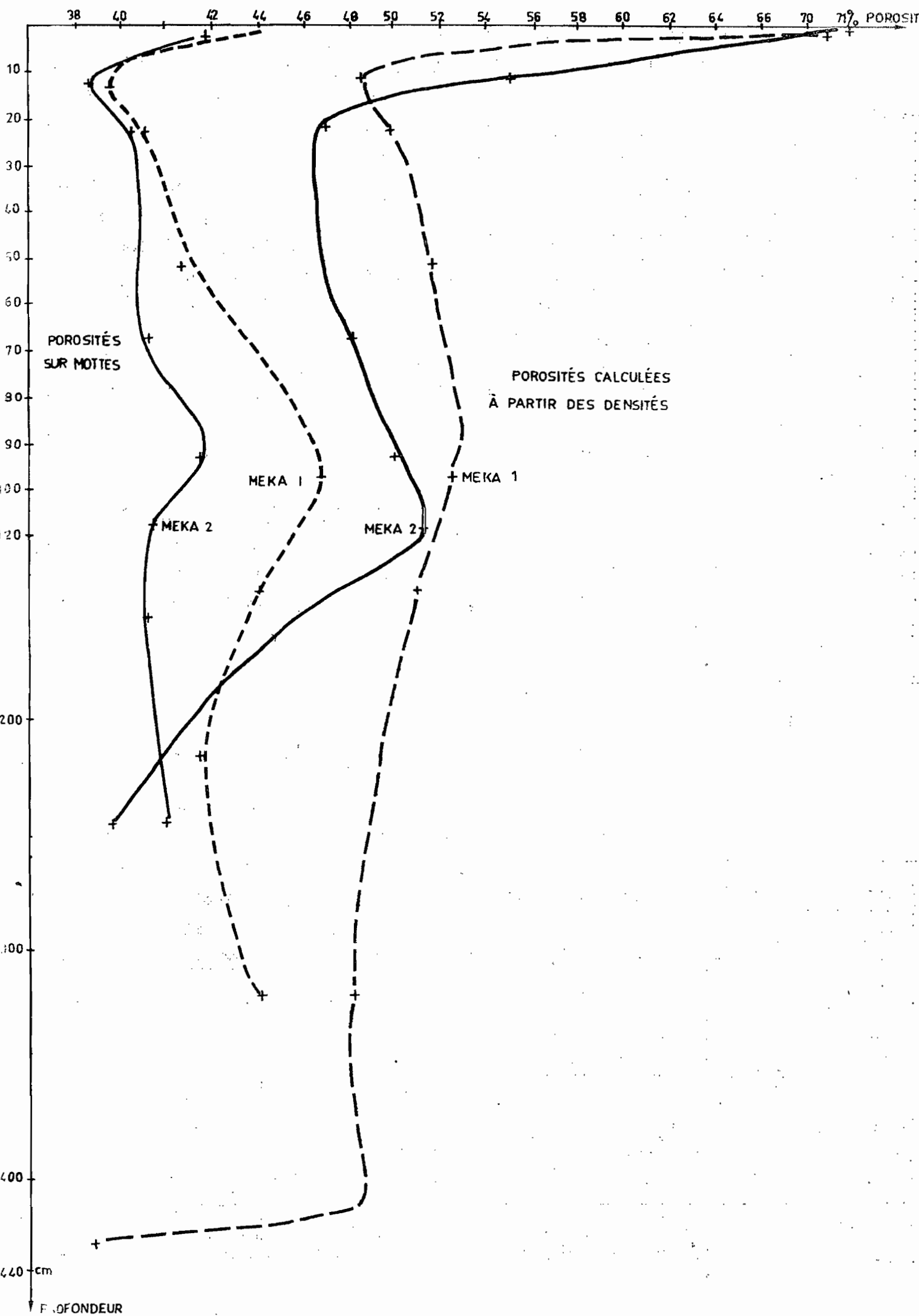
Prof. cm	D Densité réelle	D' ₁ Densité apparente in situ	D' ₂ Densité apparente calculée	D' ₂ -D' ₁	P Porosité sur mottes	P' Porosité calculée	P'-P
0-3	3,19	0,93	1,72	+ 0,79	46,3 %	70,8 %	+ 24,5%
10-15	2,74	1,35	1,66	+ 0,31	39,6 %	50,7 %	+ 11,1%
20-25	2,73	1,31	1,61	+ 0,30	41,1 %	52 %	+ 10,9%
50-55	2,78	1,29	1,60	+ 0,31	42,7 %	53,6 %	+ 10,9%
95-100	2,72	1,24	1,50	+ 0,26	48,7 %	54,4 %	+ 5,7%
140-145	2,76	1,30	1,53	+ 0,23	46 %	52,9 %	+ 6,9%
215-220	2,80	1,36	1,59	+ 0,29	43,4 %	51,4 %	+ 8 %
320-325	2,77	1,38	1,60	+ 0,22	46 %	50 %	+ 4 %
440-445	2,94	1,80				38,8 %	

TABLEAU II
MEKA 2

0-3	3,22	0,91	1,82	+ 0,91	43,7 %	71,7 %	+ 28 %
10-15	2,77	1,19	1,81	+ 0,62	38,7 %	57 %	+ 16,3%
20-25	2,78	1,42	1,70	+ 0,28	40,5 %	48,9 %	+ 8,4%
65-70	2,77	1,38	1,64	+ 0,26	41,1 %	50 %	+ 8,9%
90-95	2,78	1,33	1,68	+ 0,35	43,5 %	52,1 %	+ 8,6%
115-120	2,76	1,29	1,62	+ 0,33	41,3 %	53,2 %	+ 11,9%
155-160	2,82	1,48	1,66	+ 0,18	41,1 %	47,5 %	+ 6,4%
240-245	2,90	1,75	1,69	- 0,06	42 %	39,6 %	- 2,6%

FIGURE 6

COMPARAISON DES POROSITES



surée in situ sur un volume d'environ 700 cm³. Ils renseignent donc sur la porosité d'ensemble du sol tandis que les mesures de porosité sur des mottes de 25 cm³ environ excluent les racines, les macro-tubes et cavités fauniques, les impuretés de l'horizon etc.

En MEKA 1 cette porosité calculée, qui est de 70 % dans l'horizon humifère décroît à 51 % de 10 à 25 cm de profondeur, passe par un maximum de 54 % à 1 m pour décroître lentement ensuite (50 % à 3,2 m). Elle s'abaisse à 39 % dans l'horizon gravillonnaire (4,4 m).

En MEKA 2 la porosité calculée passe aussi de 70 % en surface à 49 % à 20 cm de profondeur puis par un maximum de 53 % à 1 m. Elle s'abaisse aussi à 39 % dans l'horizon induré (2,4 m).

On remarque donc que :

- 1/ Les courbes de porosité calculée (voir figure 6) suivent le même mouvement que celles de porosité mesurée : maximum dans les horizons A, minimum immédiatement en dessous vers 15 cm de profondeur au début des horizons de consistance (1), ventre vers 1 m, décroissance lente et régulière ensuite, valeurs nettement plus basses dans les horizons B₂fe.
- 2/ Dans les horizons Bt la porosité calculée du sol rouge est également plus élevée que celle du sol jaune : 3,1 % d'écart moyen.
- 3/ La différence entre la porosité mesurée et la porosité calculée est maximum dans l'horizon humifère (25 %), de l'ordre de 10 % ensuite jusque vers 1 m puis diminue. Cette différence renseigne en gros sur la porosité "extra-agrégats" dont le maximum coïncide donc avec la zone de plus grande activité de la faune (voir descriptions des profils chapitre I). Dans l'horizon "bouillant" de MEKA 2 (100 à 130 cm) elle est aussi plus élevée (12 %).

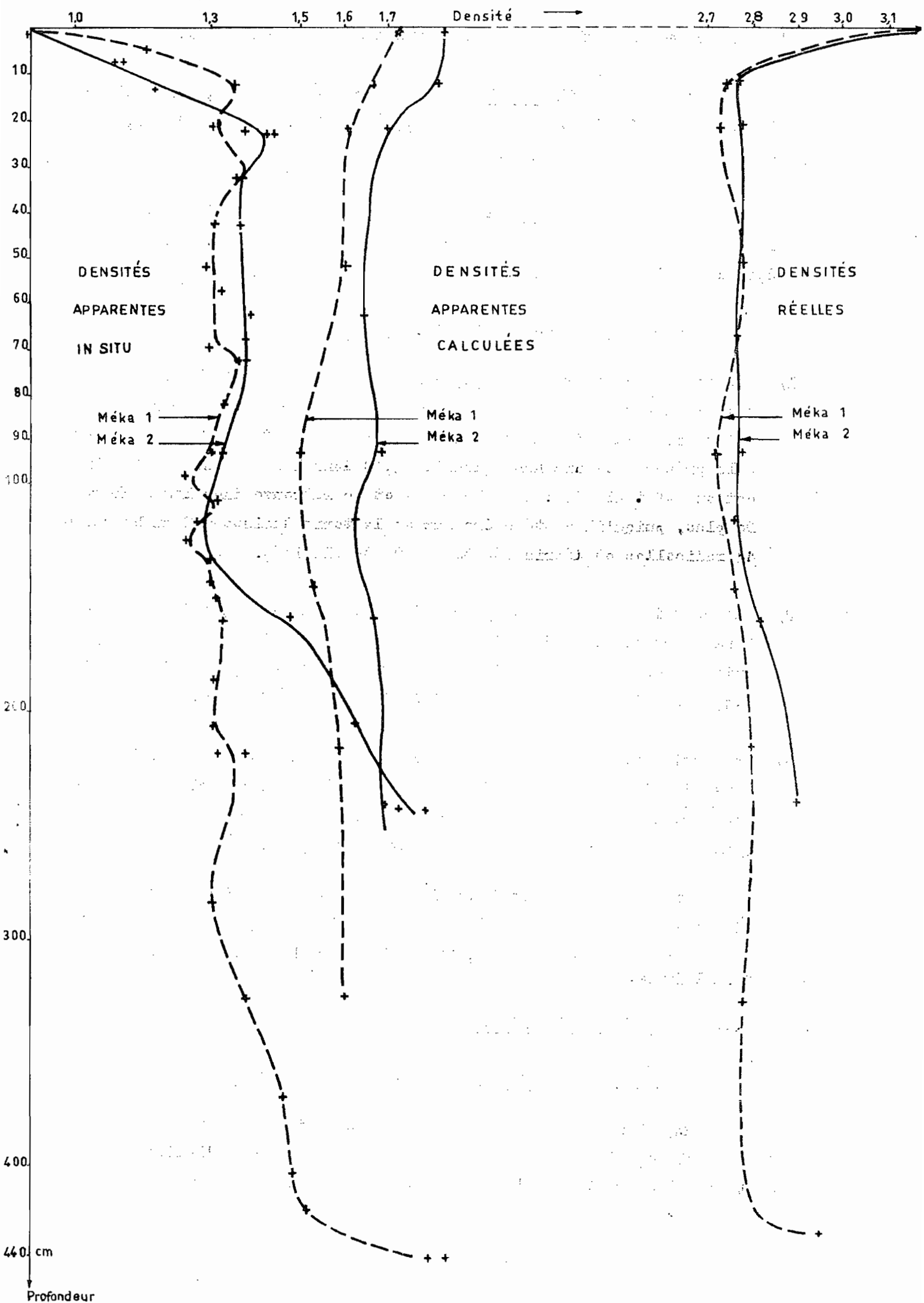
3.3. DENSITES REELLES

Trois répétitions ont été réalisées sur chaque échantillon.

- (1) Rappelons que ces deux profils sont situés sous jachère ancienne où l'on observe fréquemment une zone plus tassée vers cette profondeur.

FIGURE 7

COMPARAISON DES DENSITÉS



C'est leur moyenne qui est indiquée dans les tableaux I et II.

Dans le profil MEKA 1 la densité réelle est de 3,2 en surface puis oscille de 2,72 à 2,80 (moyenne 2,76) ensuite. Elle atteint 2,94 dans l'horizon gravillonnaire.

Dans le profil MEKA 2 la densité réelle est aussi de 3,2 en surface puis oscille de 2,76 à 2,82 (moyenne 2,78) ensuite. Elle remonte à 2,86 dans l'horizon induré.

On remarque donc (Voir Fig. 7)

- 1/ Une forte densité réelle (3,2) dans les horizons humifères. Cette valeur élevée ne peut s'expliquer par la texture plus quartzeuse de cet horizon (densité du quartz 2,65). Elle est due vraisemblablement à la présence de disthène (densité 3,6) dans les sables. Le disthène est en effet abondant dans la roche et se retrouve dans les sables. De plus, puisqu'il a été opéré sur de la terre tamisée à 2 mm beaucoup de radioselles et débris végétaux ont été éliminés.
- 2/ Une certaine constance de la densité (2,77) dans les horizons argileux colorés. Elle s'explique par la granulométrie et la minéralogie uniforme du sol ferrallitique : quartz densité 2,65, goethite densité 4,4, kaolinite densité 2,61 et ici disthène densité 3,6.
- 3/ La densité réelle à la même valeur pour le sol rouge et le sol jaune dans l'horizon humifère. Il en est de même dans les horizons concrétionnés. Par contre dans les horizons argileux et colorés elle est plus élevée pour le sol jaune (écart moyen 0,04).

Une étude minéralogique fine pourrait préciser si cette légère différence est due à la présence de produits amorphes légers dans le sol rouge (P. SEGALEN 1968), ou seulement à la texture plus sableuse du sol jaune.

3.4. DENSITES APPARENTES

3.4.1. DENSITE APPARENTE MESUREE IN SITU

Rappelons que cette densité est déterminée sur un volume de 700 cc environ, qu'elle intéresse en général une tranche d'horizon de 5 à 10 cm d'épaisseur et que l'incertitude absolue sur la mesure est de 0,01.

TABLEAU III

DENSITES APPARENTES IN SITU

MEKA 1

MEKA 2

PROFONDEUR	DENSITE SECHE	MOYENNE	PROFONDEUR	DENSITE SECHE	MOYENNE
0-3cm	0,93		0-3	0,89 0,92 0,81	
3-6cm	1,16		3-10	1,09 1,11	
10-15	1,35		10-15	1,19	
20-25	1,31 1,31	1,343	20-25	1,42 1,38 1,43 1,42 1,44	1,42
30-35	1,37		30-35	1,36	
40-45	1,31		40-45	1,37	1,375
50-55	1,29				
55-60	1,32		60-65	1,39	
65-75	1,30	1,317	65-70	1,38 1,38	
70-75	1,37 1,36		70-75	1,39	
80-85	1,33		90-95	1,33	1,31
90-95	1,30		115-120	1,29	
95-100	1,25 - 1,24		155-160	1,48	1,55
100-105	1,32		200-205	1,62	
110-115	1,27		240-245	1,72 1,78	1,75
120-125	1,25				
130-135	1,30	1,29			
140-145	1,30				
145-150	1,31				
155-165	1,33				
180-190	1,31				
200-210	1,31				
215-220	1,34 - 1,38				
280-285	1,31				
320-325	1,38	1,41			
365-375	1,46				
400-410	1,48				
415-425	1,51				
430-440	1,82 - 1,78	1,8			

Dans le profil MEKA 1 (voir tableau III) cette densité apparente ramenée au sol séché à 105° est inférieure à 1 en surface ; elle passe par un maximum de 1,343 de 10 à 35 cm de profondeur puis s'établit en moyenne vers 1,317 jusqu'à 1 m puis à 1,29 jusqu'à 2,2 m. Elle augmente alors (moyenne 1,41) jusqu'à l'horizon gravillonnaire où elle atteint 1,8.

Dans le profil MEKA 2 (voir tableau III) la densité apparente mesurée est aussi inférieure à 1 en surface, elle passe par un maximum de 1,42 à 20 cm de profondeur puis reste élevée (1,375) jusqu'à 75 cm de profondeur. On observe un minimum (1,31) dans l'horizon gravillonnaire bouillant (100 à 130 cm) puis une remontée dans l'horizon induré (1,55) et dans la carapace (1,75).

On remarque donc que (voir figure 8) :

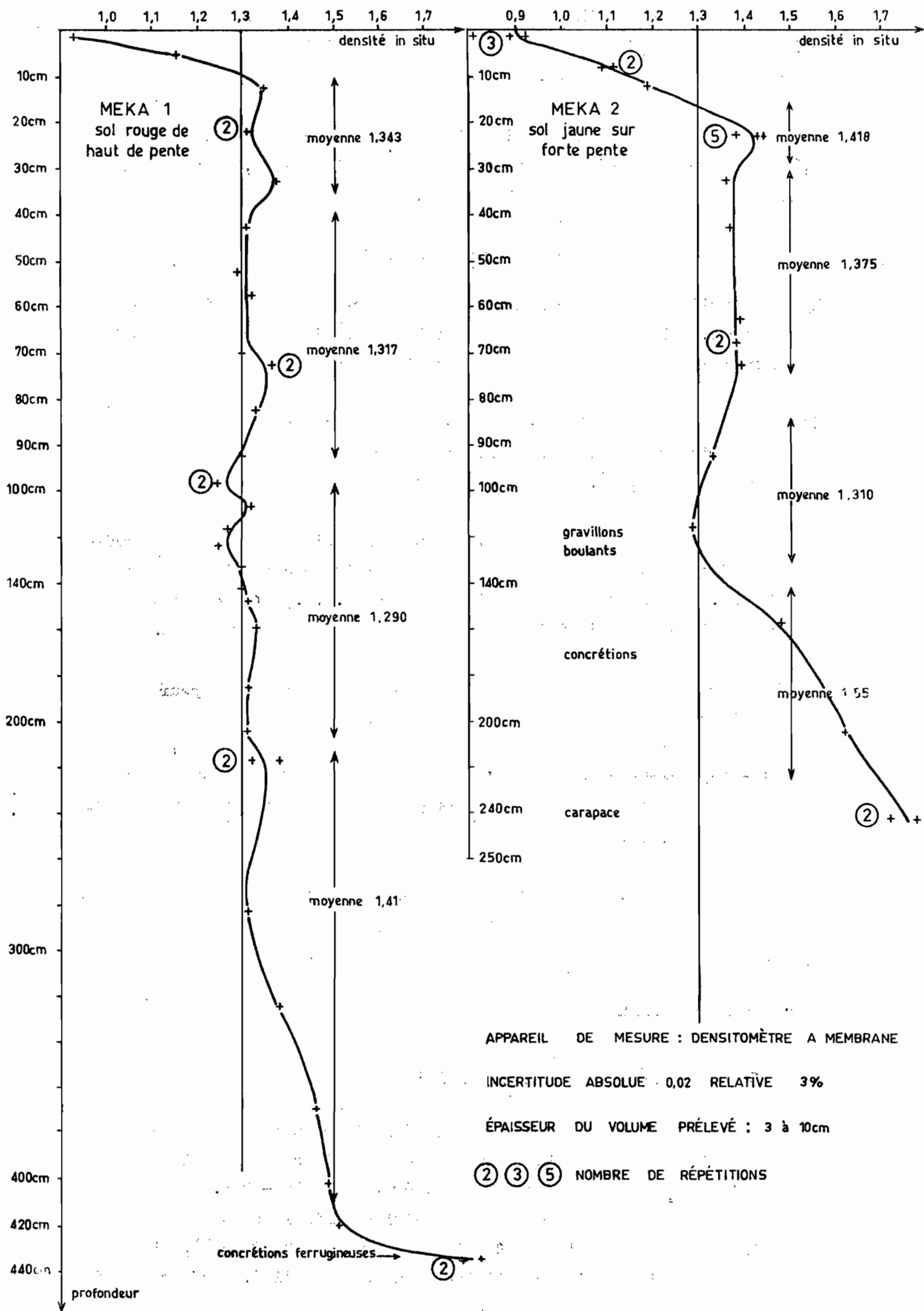
- 1/ Comme pour les densités réelles les horizons argileux homogènes et colorés du sol rouge sont moins denses que ceux du sol jaune (écart moyen 0,05). Cette différence est donc légèrement plus élevée que pour les densités réelles (0,04).
- 2/ La densité présente un maximum sous les horizons A (voir note 1 page 14), au début des horizons consistants.
- 3/ L'augmentation de densité apparente au contact de l'horizon concrétionné est brutale en MEKA 1 (de 1,5 à 1,8 en 5 cm), très progressive au contraire en MEKA 2 (de 1,29 à 1,78 en 1,2 m). L'horizon le plus léger des horizons B de MEKA 2 est un horizon grossier et bouillant pourtant constitué de quartz et concrétions ferrugineuses. Ces caractères pourraient s'expliquer par l'existence, à ce niveau, d'un écoulement latéral exportateur de matière en bas de pente.
- 4/ Dans les horizons supérieurs la densité apparente mesurée augmente plus progressivement en bas de pente (MEKA 2) qu'en haut (MEKA 1) ce qui pourrait être en relation avec un appauvrissement latéral sous cutané.

3.4.2. DENSITE APPARENTE CALCULEE

Rappelons que ces chiffres sont obtenus à partir de la porosité sur motte (% ramené à la terre séchée à l'air) et de la densité réelle (ramenée à la terre séchée à l'étuve).

FIGURE 8

DENSITÉS APPARENTES IN SITU



Dans le profil MEKA 1 (voir tableau I) la densité apparente calculée est de 1,7 en surface et passe par un minimum de 1,5 vers 1 m pour remonter ensuite à 1,6.

Dans le profil MEKA 2 (voir tableau II) cette densité est de 1,8 en surface puis décroît et passe par un minimum de 1,6 dans l'horizon bouillant avant de remonter ensuite à 1,7.

On remarque donc que (voir figure 7)

- 1/ La densité apparente calculée est plus forte que la densité apparente mesurée. Elle est obtenue en effet à partir d'une mesure de porosité sur mottes plus faibles que la porosité globale.
- 2/ Comme pour les densités réelles et les densités apparentes mesurées les horizons du sol jaune sont plus denses que ceux du sol rouge (écart moyen 0,11).
- 3/ La densité apparente calculée, la plus forte s'observe dans les horizons A où la densité apparente mesurée était au contraire la plus faible. La densité réelle (voir paragraphe 3.3.1.) est exagérée dans ces horizons par l'élimination des racines et débris végétaux.
- 4/ Il en résulte que le maximum observé sous les horizons A pour les densités apparentes mesurées est estompé.
- 5/ L'horizon bouillant de MEKA 2 présente comme pour les mesures in situ une densité minimum en contradiction avec sa constitution minéralogique (voir 3.3.1.).
- 6/ L'augmentation de la densité à la partie supérieure de l'horizon concrétionné est progressive mais estompée.

3.5. PERMEABILITES

3.5.1. PERMEABILITE MUNZ MODIFIEE :

Rappelons que ces mesures de débit in situ ont été effectuées dans un cylindre entouré d'un cylindre de garde tous deux soumis à une charge d'eau constante de 3 cm à la température de 20 - 22°. Les résultats de ces mesures, effectuées dans des conditions uniformes (sauf section du cylindre de mesure qu'on a dû faire varier de 50 à 500 cm²), n'ont pas été exprimés à l'aide d'un coefficient K de perméabilité. Les perméabili-

tés obtenues par cette méthode sont fonction à la fois de la perméabilité **verticale** et de la perméabilité **horizontale** des horizons sous-jacents. Les courbes de débit obtenues indiquent :

Dans le profil MEKA 1 (voir tableau IV) le débit est élevé en surface (50 cm/h) puis devient faible (2 cm/h) dès 40 cm de profondeur, remonte un peu à partir de 2 m (5 cm/h) puis plus nettement dans l'horizon concrétionné (12 cm/h).

Dans le profil MEKA 2 (voir tableau V) le débit est très élevé en surface (200 cm/h), devient très faible dès 50 cm de profondeur (1 cm/h) remonte un peu à 1,5 m (6 cm/h) puis plus nettement dans l'horizon induré (12 cm/h).

On remarque donc (voir figure 9)

- 1/ Une forte perméabilité en surface (50 à 200 cm/h) de cette jachère ancienne permettant à cet horizon humifère très poreux (70 %) d'absorber les plus fortes averses.
- 2/ Une diminution rapide et considérable de la perméabilité dans les horizons sous jacents (1 à 2 cm/h) manifestant une discontinuité assez brutale dans la transmission du flux.
- 3/ Une augmentation dans les horizons fins sous-jacents (5 à 6 cm/h).
- 4/ Une perméabilité plus élevée à la partie supérieure des horizons grossiers (12 cm/h).

3.5.2. PERMEABILITES DIRECTIONNELLES

Rappelons que les mesures de perméabilité verticale intéressent une couche d'au moins 10 cm d'épaisseur tandis que pour les perméabilités horizontales il a été possible de distinguer des tranches de 4 cm.

Dans le profil MEKA 1 (voir tableau IV) la perméabilité verticale est élevée près de la surface (50 puis 20 cm/h), diminue progressivement pour devenir presque nulle de 1 à 2 m (0,5 cm/h) puis remonte dans les horizons meubles sous-jacents. Elle est de nouveau très élevée (65 cm/h) dans l'horizon grossier.

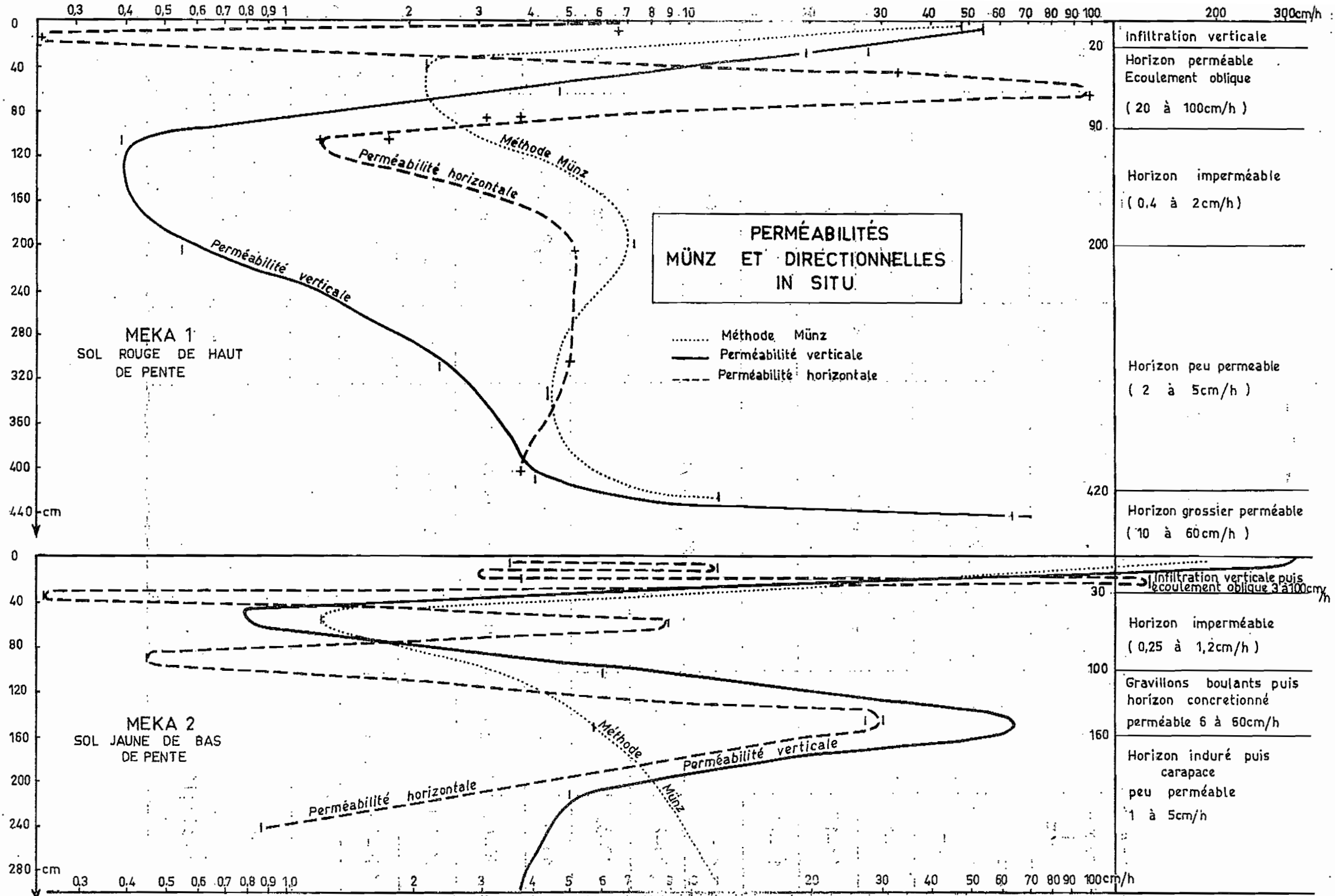
La perméabilité horizontale de MEKA 1 est dans le premier mètre successivement moyenne (6 cm/h) très faible (0,2 cm/h) très élevée

TABLEAU IV
PERMEABILITES
MEKA 1

Profondeur en cm	MUNZ AVEC GARDE	aire de mesure en cm ²	DIRECTIONNELLE VERTICALE	aire de mesure en cm ²	DIRECTIONNELLE HORIZONTALE	aire de mesure en cm ²
Surface	48cm/h 70cm/h	100 57				
5-9			53,8cm/h	250	6,4cm/h	64
9-13					6,6cm/h	64
13-17					0,24cm/h	64
17-21					0,24cm/h	64
20-35			19,7cm/h	250	28,2cm/h 35,2cm/h	250
40-55	2,2cm/h	100			33,3cm/h	250
60-75			4,8cm/h	250	98,1cm/h	250
80-95					3,15cm/h 3,8cm/h	250 200
100-110			0,39cm/h	250	1,8cm/h 1,2cm/h	500 400
160-170						
200-210	7,2cm/h	500	0,55cm/h	250	5,3cm/h	500
300-315	4,4cm/h	500	2,3cm/h 3,2cm/h	400 500	5,1cm/h 1,2cm/h 22,1cm/h	500 400 250
400-415			4,1cm/h	250	3,8cm/h	250
440	12cm/h	500	64cm/h	250		

TABLEAU V
PERMEABILITES
MEKA 2

Profondeur en cm	MUNZ AVEC GARDE	aire de mesure en cm ²	DIRECTIONNELLE VERTICALE	aire de mesure en cm ²	DIRECTIONNELLE HORIZONTALE	aire de mesure en cm ²
Surface	1,95 cm/h	57		250		
5-9			349 cm/h 279 cm/h	500	3,6 cm/h	64
9-13					11,6 cm/h	64
13-17			276 cm/h	500	3,0 cm/h	64
17-21					3,8 cm/h	64
21-25					141 cm/h	64
25-29			25,6 cm/h		7,6 cm/h	64
29-33					0,26 cm/h	64
33-37					0,28 cm/h	64
50-65	1,2 cm/h	500	0,79 cm/h	250	8,7 cm/h	250
80-100			6,0 cm/h	250	0,44 cm/h	250
145-160	5,8 cm/h	250	64,4 cm/h	250	27,4 cm/h 30,9 cm/h	200 250
215-230			5,0 cm/h	250		
245-260					0,87 cm/h 3,47 cm/h	200 250
290-315	11,7 cm/h	500	3,7 cm/h	250		



(30 à 100 cm/h) et faible (2 cm/h). Dans les horizons fins sous-jacents la perméabilité oblique paraît plus régulière et moyenne (5 cm/h).

Dans le profil MEKA 2 (voir tableau V) la perméabilité verticale est très élevée dans les horizons supérieurs (300 cm/h), diminue assez rapidement jusqu'à moins de 1 cm/h vers 50 cm de profondeur, remonte ensuite puis devient forte dans l'horizon grossier boulant et à la partie supérieure des horizons indurés.

La perméabilité horizontale de MEKA 2 est dans le premier mètre successivement moyenne (4 cm/h) forte (7 à 140 cm/h) puis très faible (0,3 cm/h). La perméabilité redevient forte dans l'horizon grossier boulant et à la partie supérieure des horizons indurés, puis faible en-dessous.

On constate donc que (voir figure 9 et 10).

- 1/ Il existe dans le premier mètre du sol rouge de haut de pente comme dans celui du sol jaune de bas de pente une ou plusieurs possibilités d'écoulement latéral. Des études complémentaires seraient nécessaires pour préciser si ces variations importantes traduisent une superposition d'horizons d'inégale perméabilité ou seulement une forte hétérogénéité générale dans cette partie du profil travaillée par la faune et les racines.
- 2/ La partie supérieure des horizons grossiers ou indurés des sols MEKA 1 et MEKA 2 est nettement plus perméable que celle des horizons meubles sus-jacents et que celle de la carapace sous jacente. Il existe donc à ce niveau profond une seconde possibilité d'écoulement latéral.

3.4.3. CONCLUSION SUR LES RESULTATS DE PERMEABILITE

Les nombreuses mesures Münz, verticales et horizontales effectuées révèlent une grande hétérogénéité de la conductivité hydraulique de ces terrains. Les sections des cadres de mesure ayant été très variées les valeurs obtenues peuvent toutefois participer à la fois de la perméabilité en "petit" et de la perméabilité en "grand" de chaque horizon.

Cependant une **tendance** générale se dégage nettement : très forte perméabilité en surface, très faible perméabilité ensuite, puis perméabilité moyenne. Enfin perméabilité notable à la partie supérieure des horizons grossiers (voir figure 9).

L'imperméabilité de la zone moyenne et la perméabilité horizontale considérable des niveaux situés de part et d'autre donne, dans la séquence étudiée, deux possibilités d'écoulement latéral aux eaux infiltrées, l'une proche de la surface, l'autre profonde, située à la partie supérieure des horizons grossiers (voir schéma d'interprétation figure 10).

En outre la forte perméabilité de la surface du sol pourrait limiter fortement la quantité d'eau susceptible de ruisseler. Ces possibilités d'infiltration pourraient même être plus élevées en bas de pente.

C H A P I T R E I V

S Y N T H E S E

De nombreuses déterminations physiques :

- porosité mesurée sur motte par la méthode RENNIE modifiée (32 mesures) ;
- porosité calculée à partir des densités (17 résultats) ;
- densité réelle (51 mesures) ;
- densité apparente in situ par le densitomètre à membrane (57 mesures) ;
- densité apparente calculée (16 résultats)
- perméabilité in situ par la méthode Münz modifiée (10 mesures) ;
- perméabilité directionnelle verticale (18 mesures) ;
- perméabilité directionnelle horizontale (31 mesures).

ont été effectuées sur une séquence de sols Ferrallitiques, Fortement Désaturés, Typiques, Rouge, en haut d'interfluve, Jaune en bas de pente, située près de YAOUNDE.

Elle avaient pour objectif à la fois de caractériser ce type de sol et de comparer entre eux le sol rouge et le sol jaune. En effet les déterminations chimiques habituelles ne permettent pas de différencier nettement ces deux types de sol.

Les observations morphologiques et les résultats obtenus par ces différentes déterminations physiques sont suffisamment nets et concordants pour caractériser cette séquence et différencier son sol rouge de son sol jaune. Des répétitions sont évidemment nécessaires pour savoir si ces données sont caractéristiques du milieu ferrallitique de la région et pour préciser si les différences observées ici entre le sol rouge et le sol jaune peuvent être généralisées.

4.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA SEQUENCE

4.1.1. POROSITES

Les porosités mesurées et calculés suivent le même mouvement : valeur élevée dans l'horizon humifère, valeur minimum immédiatement en dessous, ventre vers 1 m, diminution dans l'horizon grossier - La porosité

calculée est nettement plus forte que la porosité mesurée. Elle traduit en effet la porosité globale du sol qui est plus élevée que celle des mottes prises séparément. La différence entre les deux paraît chiffrer la porosité "en grand" (cavités et macro-tubes fauniques, impuretés). Elle est importante dans les horizons de plus grande activité biologique. L'augmentation de la porosité dans l'horizon bouillant du sol jaune est en faveur d'un amaigrissement oblique à ce niveau. La porosité calculée diminue dans les horizons concrétionnés qui n'apparaissent donc pas mieux aérés.

4.1.2. DENSITES

La régularité des valeurs de densité réelle obtenues dans les horizons argileux colorés n'étonne pas dans ce milieu ferrallitique homogénéisé et de minéralogie uniforme (J.L. PELLIER 1969). La forte densité obtenue en surface s'explique par le mode opératoire (élimination de débris végétaux par tamisage) et par l'accumulation relative de disthène dans cet horizon plus sableux. L'accumulation de goethite dans les horizons concrétionnés explique l'augmentation de densité à ce niveau.

La densité apparente mesurée, faible dans les horizons A, présente un maximum relatif à faible profondeur (jachère ?) puis un maximum vers 1 m et remonte normalement dans les horizons B₂fe. L'amplitude des variations dans les horizons argileux colorés est faible, la densité apparente y reste voisine de 1,3 et 1,4.

La densité apparente calculée suit, sauf en surface, les mêmes variations que la densité apparente mesurée. Elle est obtenue en effet à partir de la porosité sur motte qui est inférieure à la porosité globale. Son augmentation dans les horizons A résulte de valeurs élevées des densités réelles qui servent à la calculer. Elle n'est donc pas représentative (voir ci-dessus). La différence entre densités apparentes mesurées et calculée renseigne sur les cavités et impuretés grossières. Il est donc normal qu'elle soit plus élevée dans les horizons où l'activité biologique est maximum.

4.1.3. PERMEABILITES

On observe une grande variabilité des résultats de conductivité hydraulique dans ces terrains. L'amplitude de variations est moindre par la méthode Münz qui mesure la résultante de conductivités horizontales et verticales. Celles-ci au contraire traduisent soit la perméabilité "en petit" soit la perméabilité "en grand" soit une perméabilité moyenne des horizons selon la section de mesure.

La forte perméabilité en surface limite vraisemblablement le ruissellement. La forte imperméabilité observée à faible profondeur pourrait favoriser un écoulement oblique sous-cutané. La partie supérieure des horizons grossiers est à nouveau perméable permettant l'évacuation des eaux lentement percolées.

4.2. DIFFERENCIATION DU SOL ROUGE ET DU SOL JAUNE.

4.2.1. GRANULOMETRIE

La teneur en argile est plus élevée dans le Sol Rouge que dans le Sol Jaune. De plus l'appauvrissement du jaune est marqué sur une plus grande épaisseur.

4.2.2. POROSITE

Les porosités mesurées et calculées sont plus élevées dans le sol rouge que dans le sol jaune. L'amplitude des variations de porosité mesurée est plus élevée dans le sol rouge. Celle de porosité calculée est plus faible. La forte porosité calculée observée à la partie supérieure des sols concerne une plus grande épaisseur de sol jaune. Cette porosité calculée augmente à la partie supérieure des horizons grossiers du sol jaune (horizon boulang à 1,2 m) alors qu'elle diminue au contraire dans le sol rouge (gravillons à 4,2 m).

4.2.3. DENSITES

La densité réelle des horizons rouges est très légèrement plus faible que celle des horizons jaunes. L'influence des produits amorphes pourrait être étudiée (P. SEGALIN 1968). De même la densité apparente mesurée par le densitomètre à membrane et la densité apparente calculée sont plus faibles dans le sol rouge.

La densité apparente mesurée augmente au niveau des horizons B₂fe brusquement dans le sol rouge, progressivement dans le jaune. L'horizon boulang du sol jaune présente une très faible densité apparente bien qu'il contienne en abondance quartz et concrétions ferrugineuses. Une faible densité apparente mesurée s'observe sur une épaisseur plus grande à la partie supérieure du sol jaune ce qui confirme l'appauvrissement en argile du bas de pente.

4.2.4. PERMEABILITES

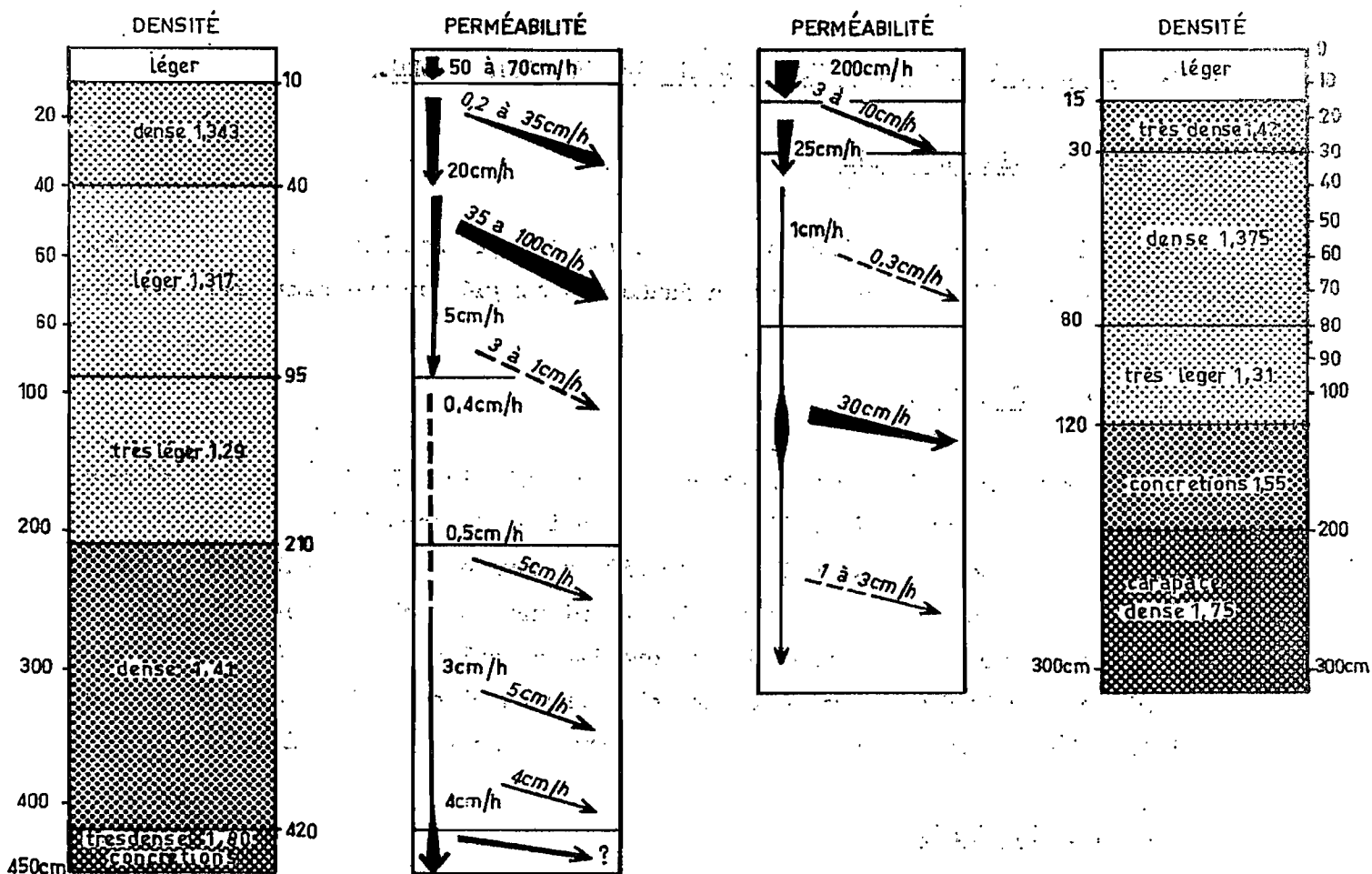
La principale différence entre le sol rouge et le sol jaune dans leur comportement hydraulique réside dans la présence en bas de pente d'un horizon grossier boulang à faible profondeur (1,2 m). On note à ce niveau et à la

FIGURE 10

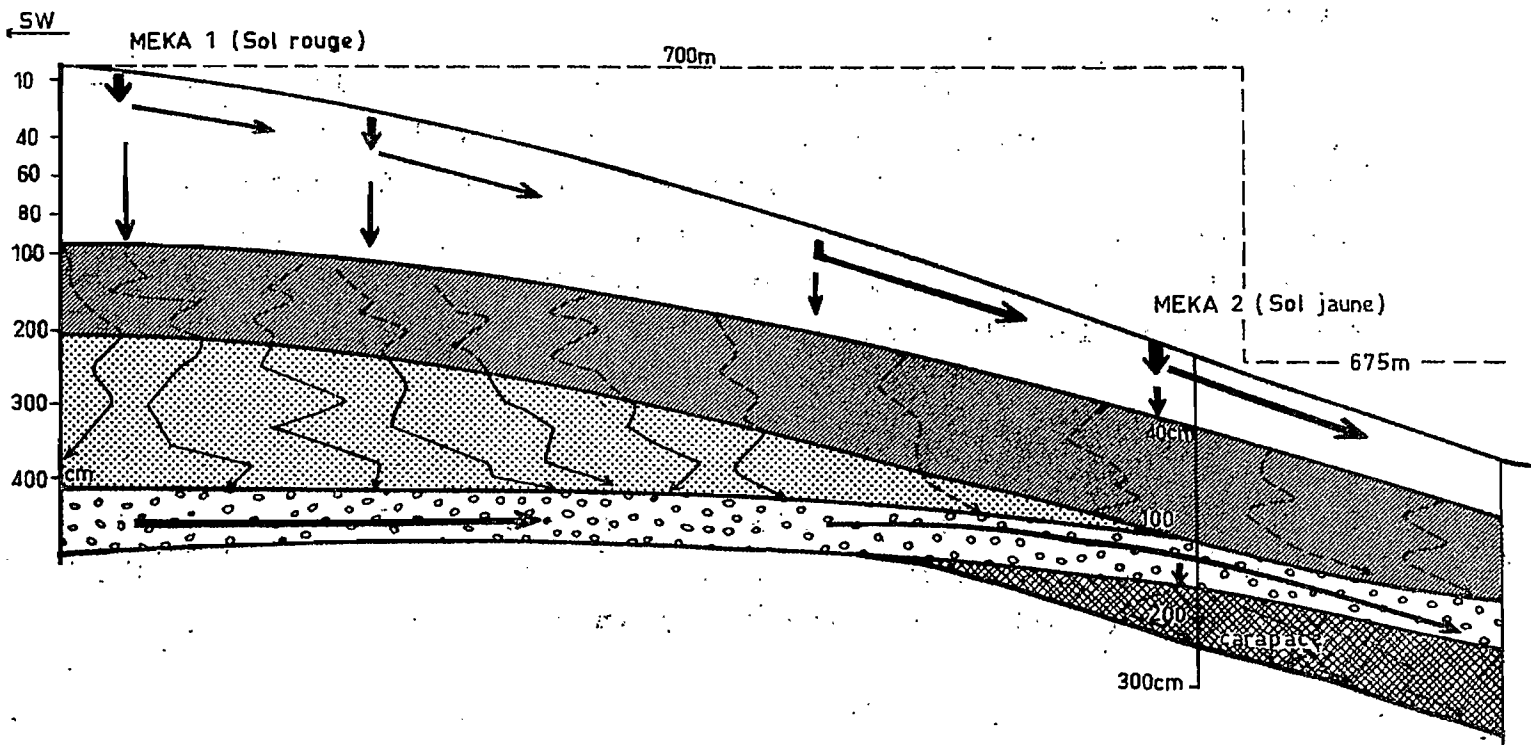
HORIZONS DE DENSITÉ ET HORIZONS DE PERMÉABILITÉ

MEKA 1

MEKA 2



SCHEMA D'ÉCOULEMENT POSSIBLE DES EAUX INFILTRÉES (à partir des courbes de perméabilité)



partie supérieure de l'horizon concrétionné une brusque augmentation de la perméabilité. Celle-ci devenant faible dans la carapace sous-jacente le sol jaune présente ainsi un aspect nettement plus contrasté.

En profondeur le sol rouge devient donc très perméable tandis que le sol jaune carapacé s'imperméabilise.

4.3. C O N C L U S I O N S

Les aspects principaux suivants ressortent de cette étude :

- Les propriétés physiques du sol jaune présentent souvent des variations plus accentuées que celles du sol rouge.
- Les horizons colorés du sol jaune sont plus denses, moins argileux, et moins poreux que ceux du sol rouge.
- L'appauvrissement superficiel marqué sur une plus grande épaisseur dans le sol jaune se traduit également dans les pH, les porosités calculées et les densités apparentes mesurées.
- Une tranche de sol fortement imperméable s'observe dans les horizons colorés sur une épaisseur grande dans le sol rouge, plus faible dans le sol jaune. Un ventre de porosité et un léger creux de densité apparente y apparaissent cependant vers un mètre de profondeur. Cette tranche imperméable qui débute vers 50 cm de profondeur pourrait induire un écoulement oblique sous-cutané.
- Un horizon bouillant perméable, léger et poreux apparaît en bas de pente où il repose sur une carapace imperméable. Il pourrait assurer, en le laminant, le drainage des couches profondes de l'interfluve.
- Enfin on remarque que si la plupart des variations dans les propriétés physiques étudiées ici sont en relation avec l'identité pédogénétique des horizons d'autres paraissent suivre au contraire le paramètre profondeur. C'est essentiellement vers un mètre de profondeur l'existence d'un ventre ou d'un creux de porosité, de densité et de perméabilité. Cette profondeur marque la limite inférieure de l'activité biologique maximum.

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

=====

- AUBERT (G.), SEGALEN (P.) 1966.- Projet de classification des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., IV, 4, p. 97-112.
- CHAMPETIER de RIBES (G.) et AUBAGNE (Ch.) 1956.- Notice explicative sur la feuille YAOUNDE-Est. Carte Géologique de reconnaissance au 1/500.000è.
- DUCHAUFOUR, (P.) 1965.- Précis de pédologie. Masson, Paris 487 pages.
- HENIN (S.) 1960.- Le profil Cultural. S.E.I.A., Paris 320 pages
- MOUKOURI KUOH (H. Ng.) 1969.- Contribution au passage des sols ferrallitiques jaunes. Rapport de Stage ORSTOM, YAOUNDE
- PELLIER (J.L.) 1969.- Données générales sur la répartition des principaux types de sols de la région de YAOUNDE- ORSTOM, P. 174, YAOUNDE 24 p.
- SEGALEN (P.) 1968.- Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxydes de la zone intertropicale : sols jaunes et sols rouges.
- VALLERIE (M.) 1966.- Reconnaissance pédologique dans l'arrondissement de DZENG. Vocation cacaoyère des sols - ORSTOM, P. 149, YAOUNDE, 22 p.