

MESURES DE TENEUR EN EAU PONDERALE
ET DE RESISTANCE A LA PENETRATION
SUR LE SITE IBSRAM DE LOUDIMA (CONGO);

CHOIX DE SITES DE MESURES.

B. Barthès⁽¹⁾, C. Hartmann⁽¹⁾ & E. Toutou-Missié⁽²⁾,
 avec la collaboration technique de P. N'Goma⁽²⁾

février 1993

(1) DGRST-ORSTOM, Brazzaville
 (2) CRAL, Loudima

REFERENCE 239 - LESC 02/93

AVANT-PROPOS

Dans le cadre d'un programme initié et financé par l'IBSRAM (International Board for Soil Research and Management), la DGRST (Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique) du Congo a mis en place un dispositif agronomique expérimental de 2 ha sur le domaine du CRAL (Centre de Recherche Agronomique de Loudima), dans la vallée du Niari au Congo.

Cette recherche se propose de comparer des systèmes de culture plus ou moins intensifiés à base manioc, avec pour objectifs:

- la détermination des conditions d'une exploitation optimale et durable de sols ferrallitiques argileux comme ceux du Niari;
- l'étude du fonctionnement et de l'évolution de ces sols après leur mise en culture.

Plusieurs équipes de la DGRST et de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) sont associées dans la mise en oeuvre de ce programme pluridisciplinaire.

Ce documents présente des données recueillies lors d'une mission sur le site IBSRAM, du 12 au 15 janvier 1993 (fin de "grande" saison des pluies), mission associant des intervenants de l'ORSTOM, de la DGRST et du CRAL.

16 SEPT. 1994

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
 N° : 40540 ex 1
 Cote : B

1. PRESENTATION ET OBJECTIF DE LA MISSION

Il est envisagé d'installer prochainement sur l'expérimentation centrale du site IBSRAM (IBSRAM, 1991) des dispositifs de mesures tensio-neutroniques et des capteurs de solution du sol. Ces dispositifs permettront de comparer 3 traitements:

- le traitement savane-témoin (2);
- le traitement bas-intrants à "entrée" manioc (4);
- le traitement hauts-intrants à "entrée" manioc (6).

Compte tenu de la lourdeur des équipements à installer, une parcelle élémentaire par traitement sera équipée, soit 3 parcelles au total.

Pour que les comparaisons entre traitements culturaux soient valables, il importe que les parcelles à équiper connaissent des conditions de édaphiques initiales aussi voisines que possible, et relativement moyennes, au moins à l'échelle de la parcelle.

Il semble opportun que les parcelles à comparer soient situées sur un même bloc, c'est-à-dire en situations topographiques comparables. Le bloc I est écarté, compte tenu de la proximité de la piste, donc d'une certaine insécurité pour les équipements. Le bloc IV est situé en bas de pente, ce qui semble peu favorable. Il faut donc choisir entre les blocs II et III.

Cette mission doit donc permettre de réunir suffisamment d'éléments pour identifier le bloc et les 3 parcelles susceptibles d'accueillir les futurs équipements.

6 situations sont considérées (Fig. 1):

- 3 dans l'allée située juste à l'aval du bloc II, au regard des parcelles-traitements (2), (4) et (6), situations notées respectivement I, L et K;
- 3 dans l'allée située juste à l'aval du bloc III, au regard des parcelles-traitements (2), (4) et (6), situations notées respectivement C, H et E;
- 2 situations supplémentaires sont étudiées, l'une tout amont, près de la fosse A située dans l'allée séparant les blocs I et II, l'autre à l'aval, près de la fosse D, située à l'aval du bloc IV; ces 2 sites supplémentaires doivent surtout permettre de compléter la caractérisation générale des sols de l'expérimentation centrale IBSRAM.

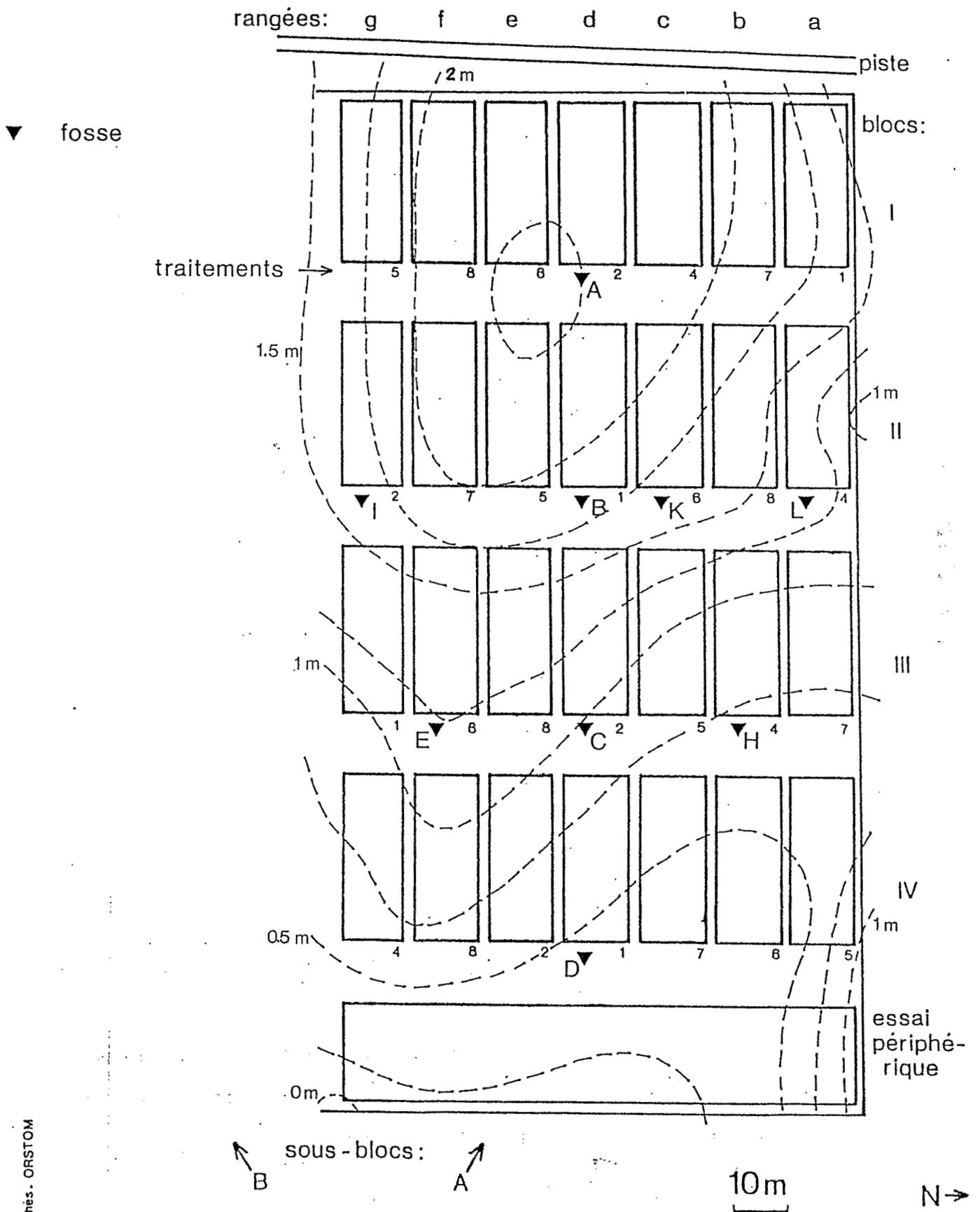
La comparaison entre situations porte:

- sur les profils d'humidité pondérale, jusqu'à 3 m de profondeur;
- sur les profils pénétrométriques, en fosses, jusqu'à 1.5 m de profondeur;
- sur les profils de densité apparente (méthode au cylindre), jusqu'à 1.4 m de profondeur;
- sur les caractéristiques chimiques et granulométriques, jusqu'à 1 m (jusqu'à 3 m dans certains cas).

Les données sur les densités apparentes, la chimie et la granulométrie, feront l'objet de rapports séparés.

FIG.1: SITE IBSRAM AU CRAL (d'après Nyeté, 1992)

EXPERIMENTATION CENTRALE



Le présent rapport traite des aspects hydriques et pénétrométriques. On présentera dans un premier temps les résultats des mesures d'humidité pondérale, puis ceux concernant la pénétrométrie, et enfin, les relations entre humidité pondérale et résistance à la pénétration.

2. MESURES D'HUMIDITE PONDERALE

2.1 Matériel et méthode

2 sondages à la tarière à main sont effectués à l'emplacement de chacune des 5 nouvelles fosses E, H, I, K et L, avant leur creusement, et à proximité de chacune des anciennes fosses A, C et D. Des prélèvements sont effectués tous les 10 cm de 10 à 100 cm, puis tous les 20 cm de 120 à 300 cm.

Les échantillons sont placés dans des boîtes métalliques tarées fermant hermétiquement. Les boîtes sont pesées avec la terre fraîche, placées 24 heures à l'étuve à 105°C, puis pesées avec la terre sèche (des tests préalables ont montré que pour les matériaux considérés, un temps de séchage de 24 heures est suffisant; en effet, la variation de poids de l'échantillon, après 24 heures supplémentaires à l'étuve, est négligeable).

On déduit de ces pesées l'humidité pondérale, rapport entre le poids d'eau contenu dans l'échantillon frais et le poids sec de cet échantillon; cette grandeur est exprimée en pourcentage. La compilation des humidités pondérales aux différentes profondeurs d'un même sondage permet de dresser le profil hydrique.

2 profils hydriques sont établis dans chaque situation, au moyen de 2 sondages à un mètre de distance environ. On s'intéresse au profil hydrique moyen de chaque site, sur la base de ce double échantillonnage.

Dans certains cas, d'importantes différences d'humidité pondérale semblent apparaître, pour une même profondeur des 2 sondages d'un même site. On observe en général que l'un des 2 profils hydriques présente alors un net décrochement à cette profondeur. Aussi, lorsque cette situation se présente, on considère qu'elle résulte d'une erreur de mesure; la valeur incriminée n'est pas retenue dans l'établissement du profil hydrique moyen du site considéré.

2.2 Résultats

Les résultats sont présentés figure 2. Le regroupement des différents sites en 3 groupes sera explicité au 2.2.2 .

2.2.1 Homogénéité d'ensemble

On note d'abord un comportement d'ensemble relativement homogène, avec :

- souvent un maximum, relatif ou absolu, à 20 cm, compris entre 30.3 et 33.5%;
- un minimum net à 30, voire 40 cm, compris entre 28.5 et 30%;

- une humidité croissante, jusqu'à un maximum peu net vers 200-220 cm, de l'ordre de 31 à 33%;
- au-delà, l'humidité reste à peu près constante, ou diminue (pour A, H et L).

De 20 à 200 cm, les évolutions sont même très voisines.

Toutes profondeurs et tous sites confondus, l'humidité pondérale est comprise, à la saison considérée bien entendu, entre 28.5 et 33.7%, soit une différence de l'ordre de 5 points.

A une profondeur donnée, les différences entre sites sont toujours inférieures à 4 points d'humidité. Et en excluant les profondeurs inférieures à 20 cm et supérieures à 260 cm, où elles sont les plus importantes, ces différences entre sites ne dépassent pas 3 points.

Les variations d'humidité pondérale, en fin de "grande" saison des pluies, restent donc limitées, tant verticalement que latéralement.

2.2.2 Typologie

Au-delà de cette homogénéité d'ensemble, il est possible de distinguer plusieurs cas de figure. On propose ci-après une typologie, basée sur l'humidité d'ensemble du profil et l'amplitude des variations. Pour apprécier l'humidité d'ensemble du profil, on comparera l'humidité aux différentes profondeurs par rapport à la valeur 31.8%, qui s'avère un seuil pertinent à la saison considérée.

Sites K et L

Il s'agit de sites présentant les caractéristiques suivantes:

- ils sont relativement humides à 10 cm de profondeur (32.3 à 33.6%);
- après une baisse brutale, ils présentent un minimum marqué à 30 ou 40 cm (<29%, minima absolus pour les 8 sites considérés);
- l'humidité croît rapidement, pour atteindre 32.5% vers 80-100 cm;
- elle continue à croître, plus faiblement, jusqu'à 200 cm (environ 33%);
- au-delà, les deux sites diffèrent; l'humidité reste élevée en K (32 à 33%), mais diminue régulièrement en L (31% à 300 cm).

Les deux sites sont donc humides dans l'ensemble; le sol y dépasse 31.8% d'humidité sur 170 et 210 cm d'épaisseur.

Mais on relève de fortes variations verticales, de l'ordre de 4 à 5 points d'humidité; ces deux sites présentent en effet les valeurs les plus élevées et les plus faibles parmi les 8 sites étudiés.

On note que K et L sont très humides à 10 et 20 cm, au-dessus d'un niveau nettement plus sec à 30-40 cm. Le drainage vertical est sans doute notablement ralenti à ces deux profondeurs. Mais ce ralentissement n'affecte guère l'humidité des niveaux sous-jacents, qui redevient rapidement élevée.

Sites C, D et E

Ces 3 sites présentent les caractéristiques suivantes:

- une humidité variable en surface, assez élevée puis décroissant en E, plus faible avec un maximum à 20 cm pour C et D;
- un minimum peu marqué à 30 cm, autour de 29.7%;
- une croissance modérée jusqu'à 220 cm, avec un maximum voisin de 32.3%;
- au-delà, l'humidité reste élevée et assez stable, autour de 32%.

Au total, ces 3 sites présentent des variations d'amplitude moyenne, comprise entre 2.7 et 3 points d'humidité.

Ils connaissent une humidité d'ensemble moyenne, mais on retrouve en profondeur (>220 cm) des valeurs proches de celles observées en K et L. Le sol dépasse ainsi 31.8% d'humidité sur 120 à 160 cm d'épaisseur.

La réhumectation après le minimum (30 cm) est plutôt lente, donc plus influencée que dans le cas de K et L par le ralentissement du drainage vertical dans les horizons supérieurs.

Sites A, H et I

On y observe:

- une humidité variable en surface, assez élevée puis décroissant en I, plus faible avec un maximum à 20 cm en A et H;
- un minimum peu marqué à 30 ou 40 cm, compris entre 29.5 et 30%;
- une réhumectation lente jusqu'à un maximum modeste à 200-220 cm, compris entre 31 et 32%; on notera que l'humidité n'augmente plus guère au-delà de 90 cm pour H et I, au-delà de 120 cm pour A;
- au-delà du maximum, l'humidité reste stable pour I, mais diminue pour A et H; pour ce dernier site, les niveaux les moins humides de tout le profil sont observés en profondeur.

Au total, ces sites sont relativement peu humides. Le sol y dépasse 31.8% d'humidité sur moins de 20 cm d'épaisseur.

Les variations observées restent limitées, comprises entre 2 et 2.3 points d'humidité.

Comme dans le cas précédent, la réhumectation après le minimum (30-40 cm) est lente, sans doute sous l'influence du ralentissement du drainage vertical dans les niveaux supérieurs.

On note que les deux groupes de sites C-D-E et A-H-I présentent des profils hydriques assez voisins jusqu'à 160 cm. Mais au-delà, C, D et E sont plutôt humides, alors que A, H et I le sont sensiblement moins.

On note également que cette typologie est difficile à relier aux données topographiques.

SYNOPTIQUE

On peut résumer cette typologie de la manière suivante:

Site	L	K	D	C	E	I	H	A
Humid. max. (%)	33.6	32.9	32.7	32.4	32.1	32.0	31.4	31.8
Humid. min. (%)	28.4	28.7	29.7	29.7	29.4	29.7	29.3	29.8
Amplitude des variations (max-min, sans unité)	5.2	4.2	3	2.7	2.7	2.3	2.1	2
Epaisseur de sol >31.8% d'humid. (cm)	170	210	160	130	120	10	0	0

2.2.3 Autres distinctions

La typologie présentée ci-dessus, basée sur l'humidité d'ensemble du profil et l'amplitude des variations, ne prend pas en compte toutes les caractéristiques des profils hydriques moyens. D'autres distinctions sont possibles.

* Si l'on s'intéresse aux niveaux de surface, on peut considérer:

- que E, I, K et L présentent des valeurs élevées (>32%); il s'agit de sites situés en milieu de versant;
- que A, C, D et H présentent des valeurs plus faibles (<30.5%); ces sites sont situés en haut et bas de versant.

* Si l'on s'intéresse aux niveaux profonds, on peut considérer que l'humidité:

- décroît nettement pour A, H et L, au-delà du maximum noté à 200-220 cm; ces sites sont au sommet (A) et en bordure de l'axe de drainage (H et L);
- reste stable pour C, E et K, voire I, au-delà de ce maximum;
- ne connaît pas vraiment de maximum vers 200 cm pour D, voire I, et tend à augmenter jusqu'à 300 cm.

* Si l'on s'intéresse aux niveaux situés sous le minimum relevé à 30-40 cm, on constate que l'humidité :

- reste à peu près stable jusqu'à 80 cm pour E et I, jusqu'à 100 cm pour A; ces 3 sites sont situés sur une sorte de crête;
- augmente assez lentement pour C, H voire D; ces 3 sites sont situés aux altitudes les plus faibles;
- augmente rapidement pour K, L, voire D.

* On constate que ces typologies prenant en compte seulement une partie du profil sont assez bien reliées aux données topographiques:

- la première, considérant le sommet du profil, distingue le milieu de versant des extrémités;
- la seconde, qui considère la base du profil, distingue l'amont et la bordure des axes de drainage des autres situations;
- la troisième, en considérant la partie située sous le minimum, différencie la crête de l'aval, d'une part, et des zones "humides", d'autre part.

En combinant ces 3 typologies "partielles", on aboutit à la différenciation topographique suivante:

- à l'amont (A), l'humidité est faible au sommet du profil, stable sous le minimum et décroissante en profondeur;
- sur la crête (E et I), l'humidité est élevée au sommet du profil, stable sous le minimum et stable en profondeur;
- près de l'axe de drainage, vers l'amont (L), l'humidité est élevée au sommet du profil, augmente rapidement après le minimum, et décroît en profondeur;
- près de l'axe de drainage, mais vers l'aval (H), l'humidité est faible en surface, augmente lentement sous le minimum, et décroît en profondeur;
- vers l'aval, hors axe de drainage (C et D), l'humidité est faible au sommet du profil, augmente lentement sous le minimum et reste stable en profondeur;
- pour K, qui n'est ni à l'amont, ni à l'aval, ni sur la crête, ni près de l'axe de drainage, au milieu donc, l'humidité est élevée au sommet du profil, remonte rapidement après le minimum, et reste stable en profondeur.

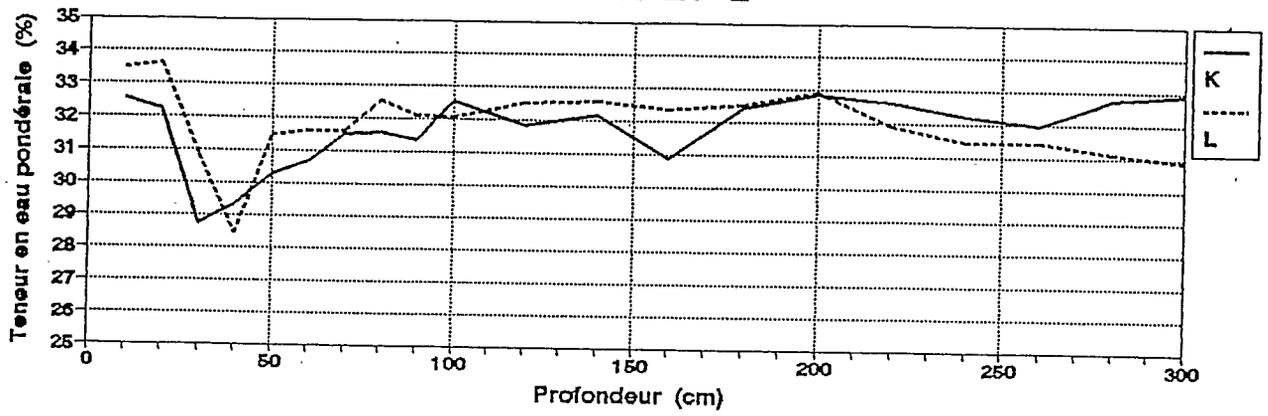
2.3 Synthèse sur les mesures d'humidité pondérale

Les 8 sites étudiés présentent une certaine homogénéité, au moins à la saison étudiée (fin de la "grande" saison des pluies):

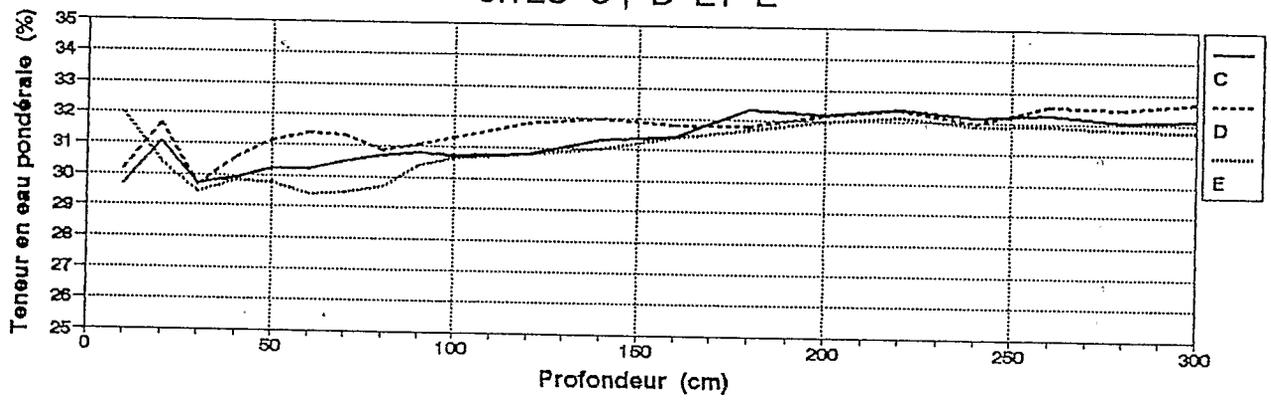
- la différence entre l'échantillon le plus humide (33.6%) et l'échantillon le moins humide (28.4%) est de l'ordre de 5 points d'humidité, ce qui est peu important;
- tous les profils hydriques moyens passent par un minimum vers 30-40 cm (28.5 à 30 %) et par un maximum vers 200-220 cm (31 à 33%).

FIG. 2 : PROFILS HYDRIQUES IBSRAM (01.93)

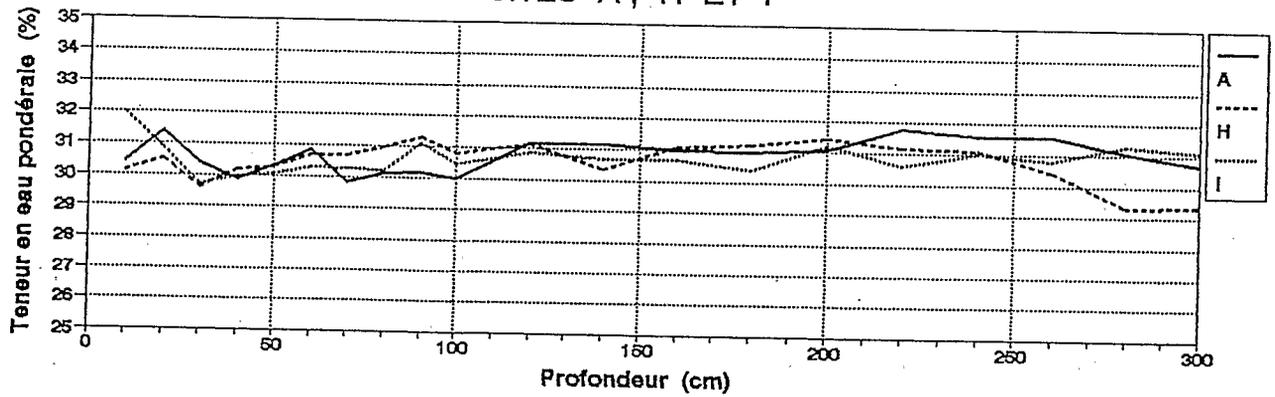
SITES K ET L



SITES C, D ET E



SITES A, H ET I



Au-delà de cette homogénéité d'ensemble, il est possible de distinguer plusieurs types de sites, en considérant l'humidité d'ensemble du profil et l'amplitude des variations:

- K et L sont relativement humides dans l'ensemble, mais montrent des variations d'amplitude marquée avec la profondeur;
- C, D et E présentent une humidité d'ensemble moyenne et des variations d'amplitude modérée; toutefois, en profondeur, ils sont aussi humides que les 2 sites précédents;
- A, H et I sont moins humides, et les variations observées restent limitées.

Cette typologie reste toutefois difficile à relier aux autres données, en particulier topographiques.

D'autres typologies, prenant en compte certaines parties du profils, sont possibles:

- ainsi, au sommet du profil, E, I, K et L, en milieu de versant, sont relativement humides (>32%), alors que A, C, D et H, en haut et bas de versant, connaissent des valeurs plus faibles (<30.5%);
- à la base du profil (>220 cm), l'humidité décroît nettement pour A (amont), H et L (axe de drainage); elle reste plus stable ailleurs;
- sous le minimum situé vers 30-40 cm, l'humidité reste stable jusque vers 80-100 cm pour A, E et I (crête); elle augmente lentement pour C, D et H (aval); elle augmente rapidement pour K et L (les plus humides).

Il semble donc qu'on puisse distinguer 3 compartiments, la partie supérieure du profil, la zone située sous le minimum et la partie inférieure; au sein de chaque compartiment, l'évolution de l'humidité avec la topographie apparaît relativement indépendante de l'évolution de l'humidité dans les autres compartiments.

Les différences entre sites sont donc peu marquées. Il sera intéressant d'observer l'influence de ces différences sur les données qui seront acquises ultérieurement.

La typologie des sites basée sur l'ensemble du profil, la plus pertinente a priori, est difficile à relier à la topographie.

En revanche, il est plus aisé de relier à la topographie les typologies prenant en compte une partie seulement du profil (sommet ou base du profil, zone sous le minimum). Il semble qu'on puisse ainsi identifier 3 compartiments, au sein desquels l'humidité évolue de manière relativement indépendante.

3. MESURES DE RESISTANCE A LA PENETRATION

3.1 Matériel et méthode

Les 5 fosses nouvellement ouvertes, E, H, I, K et L, ont fait l'objet de mesures de résistance à la pénétration, à l'aide d'un pénétromètre conique de poche. Ces 5 fosses sont profondes de 150 cm, larges d'autant.

Les mesures ont été effectuées sur la face amont des fosses, tous les 5 cm pour les profondeurs de 5 à 50 cm, puis tous les 10 cm de 60 à 150 cm (jusqu'à 140 cm seulement sur la fosse E, un peu moins profonde). Pour chaque profondeur, on effectue 15 mesures, en se déplaçant horizontalement de 10 cm en 10 cm. On calcule la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation (écart-type/moyenne) sur les 15 mesures effectuées à chaque profondeur.

La fosse C a été ouverte il y a plusieurs mois. Elle était profonde de 80 cm environ, et a été approfondie à 150 cm lors de la présente mission. Les mesures de résistance à la pénétration ont porté uniquement sur la partie inférieure de la fosse, à partir de 60 cm.

3.2 Résultats

Les résultats des mesures sur les 6 fosses sont présentés fig. 3.

3.2.1 Homogénéité d'ensemble

On note d'abord une évolution relativement homogène de la résistance à la pénétration avec la profondeur, pour toutes les fosses, avec:

- un minimum relatif à 5 ou 10 cm, compris entre 8 et 20 kg/cm²;
- un maximum absolu entre 20 et 35 cm, compris entre 22 et 28 kg/cm²;
- une diminution assez régulière de cette résistance jusqu'à un minimum, souvent absolu, entre 80 et 110 cm, compris entre 4 et 9 kg/cm²;
- au-delà, une stabilisation de cette résistance entre 6 et 10 kg/cm².

Les 6 fosses sont donc toutes caractérisées, à la saison considérée, par un maximum de cohésion marqué (>22 kg/cm²) entre 20 et 35 cm, et au-delà de 80 cm, par des matériaux meubles (<10 kg/cm²).

Au-delà de cette homogénéité d'ensemble, on peut relever un certain nombre de différences entre les profils pénétrométriques. Ces différences permettent de regrouper les 6 fosses en 2 groupes, le groupe "aval" et le groupe "amont".

3.2.2 Fosses "AVAL": E, H (et C)

Au sommet du profil, ces fosses "aval" présentent:

- des matériaux déjà cohérents à 5 cm (18 à 20 kg/cm²);
- un minimum relatif à 10 cm (16 à 19 kg/cm²);
- un maximum élevé entre 20 et 30 cm (24 à 28 kg/cm²)

A la base du profil, ces fosses tendent à être les plus meubles. C'est le cas dès 45 cm pour H, dès 70 cm puis de 90 à 120 cm pour E, à partir de 100 cm pour C.

Les fosses "aval", E, H (et C), présentent donc de fortes amplitudes (20 kg/cm^2), avec les cohésions les plus fortes au sommet du profil et les plus faibles à la base.

Le cas de la fosse C est un peu particulier, puisqu'elle existait depuis plusieurs mois et a été approfondie, passant de 80 à 150 cm de profondeur.

De 60 à 80 cm, les valeurs de cohésion sont plus élevées qu'ailleurs. Ce point est à mettre en relation avec la longue exposition des faces de la fosse à l'air libre. Le "rajeunissement" (décapage sur 5 à 10 cm) de ces faces avant les mesures n'a pas gommé cet effet, lié à la dessiccation par l'air ambiant (Cf. relation humidité-cohésion au chapitre 4).

3.2.3 Fosses "AMONT": I, K et L

Au sommet du profil, on note :

- des cohésions relativement faibles à 5 cm ($8 \text{ à } 15 \text{ kg/cm}^2$);
- des maxima également plus faibles que ci-dessus, entre 20 et 35 cm ($22 \text{ à } 24 \text{ kg/cm}^2$).

En profondeur, sous le minimum de cohésion noté à 80 cm, les matériaux observés dans ces fosses tendent à être moins meubles ($8 \text{ à } 10 \text{ kg/cm}^2$).

Ces fosses "amont", I, K et L, présentent donc des variations d'amplitude plus faible (15 kg/cm^2), avec des matériaux moins cohérents au sommet du profil, mais moins meubles à la base.

3.2.4 Comparaisons fosse à fosse

La comparaison fosses "amont"/fosses "aval" est particulièrement intéressante si on l'effectue de fosse à fosse, en comparant I avec E, qui est situé juste à l'aval, L avec H, et K avec H.

En comparant I avec E, on constate que de 15 à 45 cm de profondeur, les deux courbes présentent le même aspect, mais sont décalées: E, à l'aval, présente des valeurs de résistance plus fortes, et ses points "représentatifs" (premier maximum, relatif, puis maximum absolu, 10 cm plus profond) sont plus superficiels.

De 50 à 80 cm, les deux fosses ont des cohésions très voisines. A partir de 90 cm, I, à l'amont, est plus cohérente que E.

En comparant L avec H, on voit qu'entre 10 et 40 cm, les deux courbes ont des aspects très voisins (pour H, la valeur de résistance à 25 cm pourrait être erronée), mais également avec un décalage. Ainsi, à une profondeur donnée, H, à l'aval, est plus cohérent que L.

Cette relation s'inverse dès 45 cm, les 2 droites continuant toutefois à évoluer plus ou moins parallèlement avec la profondeur.

En comparant K avec H, on note également une évolution parallèle de 10 à 80 cm (H_{25cm} étant douteux), avec un décalage de 5 à 10 cm vers la surface pour H, plus aval.

Insensiblement, vers 50 à 80 cm, le décalage de 5 à 10 cm parallèlement à l'axe des profondeurs devient un décalage de 3 à 4 kg/cm² parallèlement à l'axe des résistances; la fosse aval montre alors des cohésions plus faibles.

En conclusion, ces comparaisons fosse à fosse "amont"/"aval" montrent que de 10 à 50 cm de profondeur, les maxima sont souvent plus superficiels et plus élevés vers l'"aval". Tout se passe comme si la partie supérieure du sol de l'"amont" était tronquée vers l'aval.

Les cohésions plus fortes notées à l'"aval" pour les points représentatifs (maxima) résulteraient de leur rapprochement de la surface, où la dessiccation est plus accentuée en saison sèche.

3.2.5 Comparaison au sein de chaque allée

On se propose de comparer, au sein de chaque allée, la fosse située sur la crête à celle située près de l'axe de drainage (comparaison I/L et E/H). On note ainsi qu'entre 10 et 50 cm:

- sur la crête (I et E), le maximum de cohésion est durable (la courbe présente un sommet aplati), relativement profond (30-35 cm) et élevé;
- près de l'axe de drainage (H et L), la maximum de cohésion est très localisé (la courbe a un sommet pointu), plus superficiel (20 cm) et plus faible.

En profondeur, les cohésions sont soit plus fortes sur la crête que vers l'axe de drainage (E/H), soit équivalentes pour les 2 situations (I/L).

Tout semble donc se passer comme si les niveaux supérieurs de la crête avaient été décapés près de l'axe de drainage.

Les cohésions sont plus faibles vers l'axe de drainage, sans doute en relation avec une humidité plus importante, voire une texture plus légère.

3.2.6 Variabilité au sein de chaque fosse

La figure 3 présente également les coefficients de variations (= moyenne/écart-type) pour chaque profondeur de chaque fosse (il y a 15 mesures par profondeur).

Dans l'ensemble, les coefficients de variation:

- sont élevés de 5 à 25 cm (25 à 90% environ);
- sont plus faibles de 30 à 90 cm (20 à 40% environ);
- remontent à partir de 100 cm (20 à 65% environ); cette augmentation est surtout marquée pour la fosse E, sur laquelle on observe un terrier vers 110 cm de profondeur.

Ce découpage reste grossier, et dans le détail:

- pour L, le coefficient de variation est compris entre 20 et 45% sur l'ensemble du profil; il s'agit d'une fosse où les variations latérales restent limitées;
- pour K, le coefficient de variation n'est élevé ni en surface (<55%), ni en profondeur (<45%);
- la fosse I présente une forte hétérogénéité latérale jusqu'à 20 cm, mais reste plus homogène ensuite (<40%).

3.2.7 Comparaison avec les mesures effectuées en mai 1992

Des mesures de résistance à la pénétration avaient été effectuées en mai 1992 (fin de saison des pluies), notamment sur les fosses B et C, jusqu'à 50 cm de profondeur (Barthès et al., 1992).

Ces mesures permettaient d'opposer (fig. 4):

- les fosses aval, C et D, plus meubles jusqu'à 25 cm, et plus cohérentes à partir de 40 cm de profondeur;
- les fosses amont, A et B, plus cohérentes jusqu'à 25 cm, et plus meubles à partir de 40 cm.

Ceci est assez contradictoire avec ce qui est noté pour les 6 fosses ayant fait l'objet de mesures en janvier 1993, pour lesquelles les cohésions sont plus élevées à l'aval (E et H) qu'à l'amont (I, K et L) jusqu'à 20 cm de profondeur, la fosse E montrant même des cohésions plus élevées jusqu'à 45 cm.

En comparant les mesures faites sur B et C en mai 1992 avec le graphe présentant les mesures faites en janvier 1993 sur les 6 fosses, on note toutefois certains points de convergence.

Ainsi, la courbe représentant la fosse B en mai 1992 peut être comparée à celles établies en janvier 1993 pour les fosses de la même allée (K qui lui est voisine, I et L qui les encadrent). Les valeurs notées pour B en mai 1992:

- sont comprises, de 5 à 15 cm de profondeur, entre celles établies, en janvier 1993, pour L et I, qui sont sur la même allée;
- dépassent, à 20 cm, les courbes de la même allée (I, K et L) établies en janvier 1993, avec un maximum de cohésion (25 kg/cm^2) proche de celui observé à 30 cm pour K, voisine de B;
- sont comprises, à 25 et 30 cm, entre celles établies en janvier 1993 pour L et K;
- sont comprises, à 35 et 40 cm, entre celles établies en janvier 1993 pour K et I;
- dépassent à 45 et 50 cm les courbes de la même allée établies en janvier 1993.

Le profil pénétrométrique établi pour la fosse B en mai 1992 est donc relativement voisin de ceux établis pour les fosses de la même allée en janvier 1993.

En revanche, la courbe représentant la fosse C en mai 1992 est très différente de celles établies en janvier 1993 pour les fosses de la même allée (E et H, qui l'encadrent):

- jusqu'à 25 cm de profondeur, les cohésions sont inférieures à toutes celles notées en janvier 1993;
- la résistance à la pénétration est maximale vers 40 cm (environ 23 kg/cm²), et reste, jusqu'à 50 cm, plus forte que celles notées sur toutes les fosses en janvier 1993.

Ces différences importantes sont vraisemblablement dues, au moins en partie, à des variations saisonnières.

Si l'on s'intéresse non plus aux résistances moyennes, mais aux coefficients de variation à chaque profondeur (moyenne/écart-type sur les 15 mesures par profondeur), on note également des similitudes entre les valeurs relevées pour B en mai 1992 et K (voisine) en janvier 1993: celles-ci sont de l'ordre de 50% de 10 à 25 cm de profondeur, puis de l'ordre de 30 à 40% jusqu'à 45 cm.

3.3 Synthèse sur les données pénétrométriques

On observe pour les 6 fosses étudiées une évolution d'ensemble comparable, avec un maximum de cohésion marqué entre 20 et 35 cm de profondeur, et des matériaux relativement meubles au-delà de 80 cm.

Au sein de chaque fosse, les matériaux étudiés présentent des variations latérales relativement limitées entre 30 et 90 cm de profondeur, mais plus importantes au sommet et à la base des fosses.

Toutefois, dans le détail, on relève des différences entre fosses.

Ainsi, vers l'"aval", la partie supérieure des profils (10 à 50 cm) présente des maxima plutôt plus élevés et plus superficiels que vers l'"amont".

Vers l'axe de drainage, la partie supérieure des profils présente des maxima plus superficiels que vers la crête, mais moins élevés.

La partie supérieure des profils de crête et "amont" pourrait ainsi avoir été tronquée vers l'"aval" et l'axe de drainage.

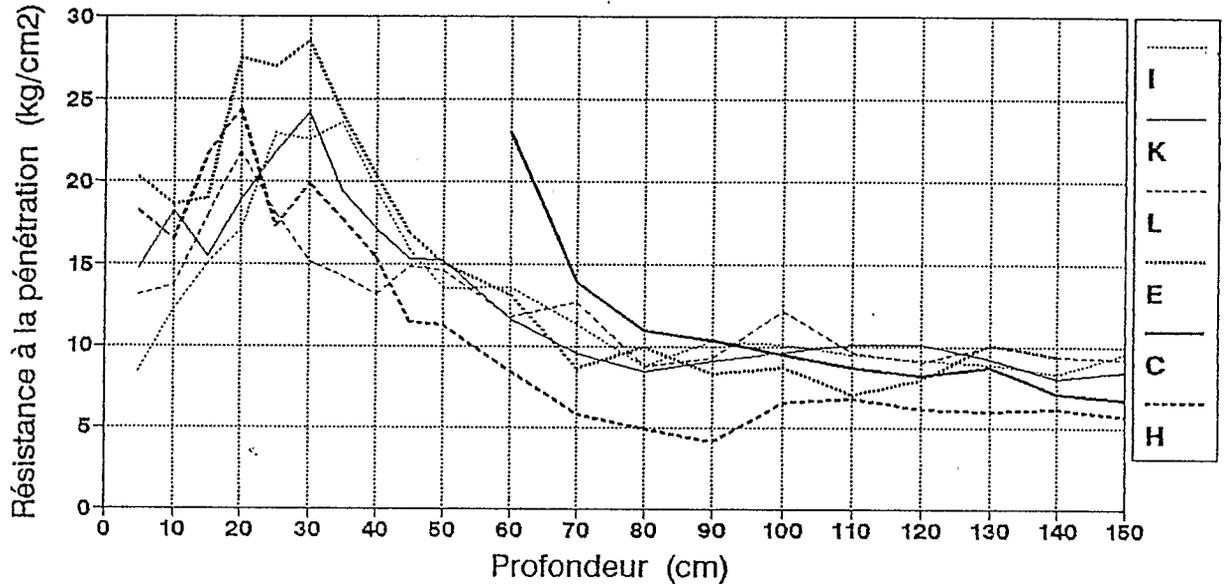
A la partie inférieure des profils, au-delà de 80 cm, la tendance générale s'inverse, et c'est vers l'"amont" et la crête que l'on relève les cohésions les plus fortes, vers l'"aval" et l'axe de drainage, les plus faibles.

La comparaison, par allée, avec les mesures effectuées en mai 1992:

- est intéressante pour la fosse B, dont le profil pénétrométrique en mai 1992 est relativement peu différent de ceux établis en janvier 1993 pour les fosses de la même allée (I, K et L);
- s'avère peu concluante pour la fosse C, dont le profil pénétrométrique connaît sans doute une évolution saisonnière plus marquée.

FIG. 3 : RESISTANCE A LA PENETRATION

FOSSES C, E, H, I, K & L (01.93)
MOYENNES



FOSSES C, E, H, I, K & L (01.93)
COEFFICIENTS DE VARIATION

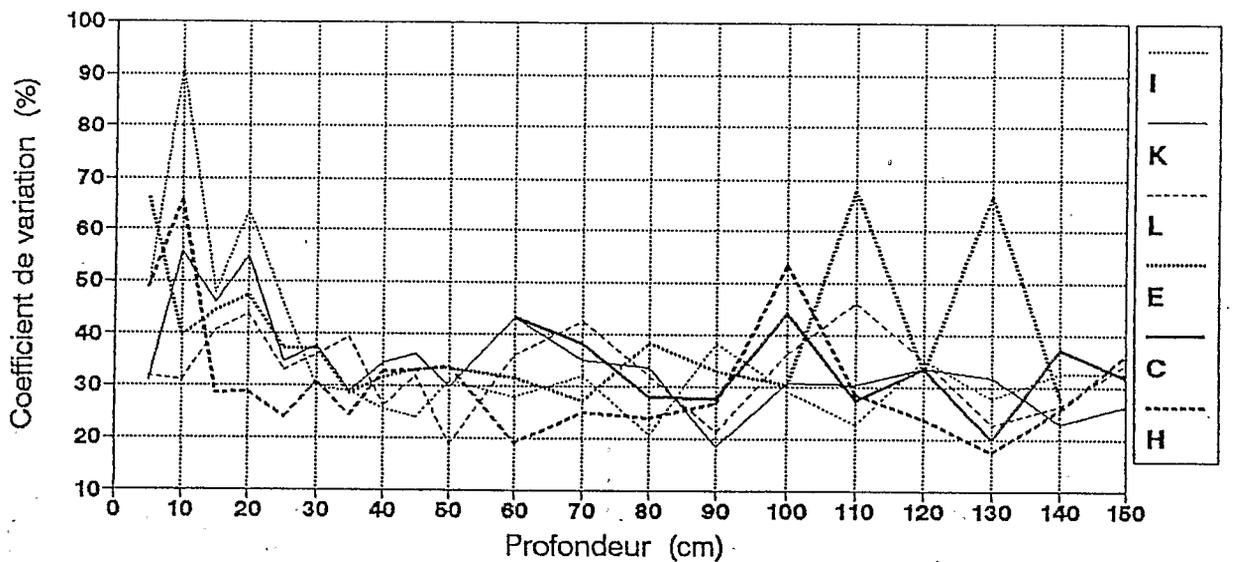
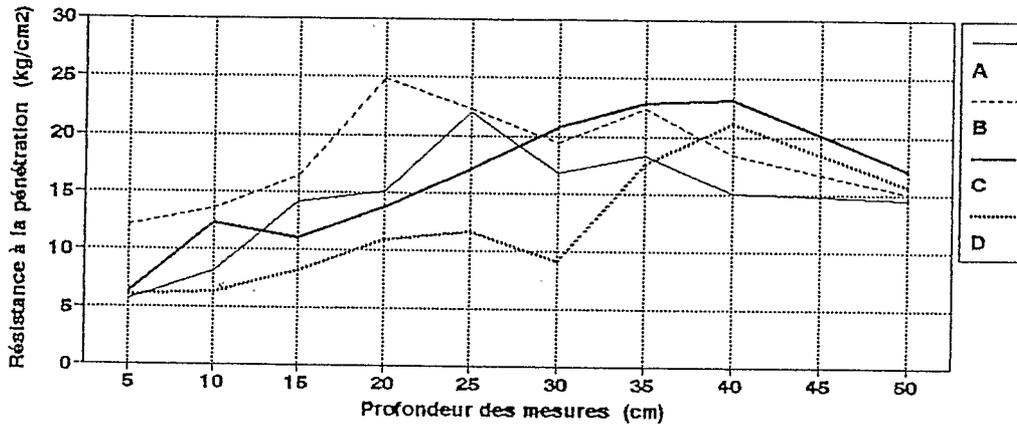
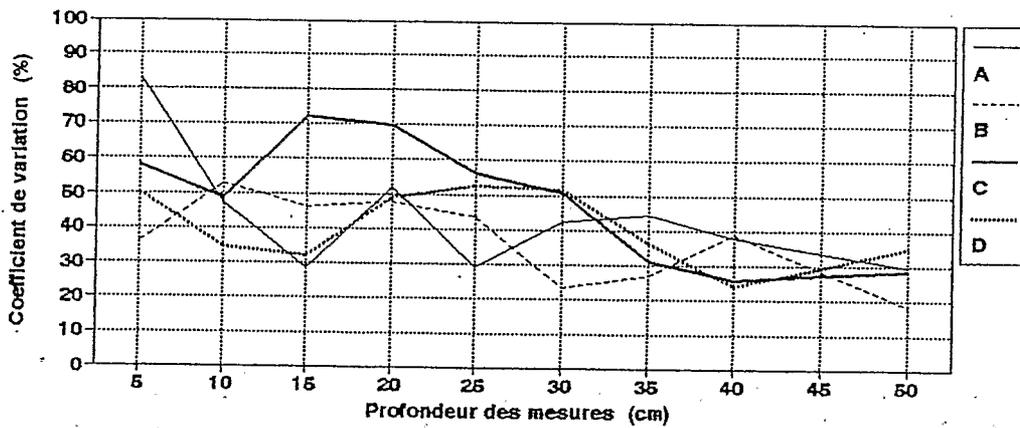


FIG. 4 : RESISTANCE A LA PENETRATION

FOSSSES A, B, C & D (05.92)
MOYENNES



FOSSSES A, B, C & D (05.92)
COEFFICIENTS DE VARIATION



4. RELATION ENTRE RESISTANCE A LA PENETRATION ET TENEUR EN EAU

4.1 Matériel et méthode

Sur la base:

- des mesures d'humidité pondérale effectuées à l'emplacement des fosses E, H, I, K, L et près de la fosse C, d'une part,
- des mesures de résistance à la pénétration réalisées dans ces fosses, d'autre part,

on se propose de comparer les profils pénétrométriques et hydriques.

Compte tenu des profondeurs de mesures dans l'un et l'autre cas, la comparaison porte sur les profondeurs suivantes (en cm): 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120 et 140 (pour la fosse C, la comparaison ne portera pas sur les profondeurs 10 à 50 cm, qui n'ont pas fait l'objet de mesures pénétrométriques).

La relation entre résistance à la pénétration et teneur en eau pondérale est appréhendée au moyen d'un graphe par fosse, sur lequel sont portées les teneurs en eau en abscisse et les résistances à la pénétration en ordonnée.

4.2 Résultats

Les graphes représentant la relation entre la cohésion et l'humidité pour les 6 fosses sont présentés à la figure 5.

4.2.1 Partie inférieure des profils

Pour toutes les fosses, on note qu'une partie des points semble relativement alignée sur une droite. Ces points correspondent à la partie inférieure des fosses, à partir de 40 ou 50 cm de profondeur (au-delà de 80 cm pour C). A ces profondeurs, la résistance à la pénétration diminue quand l'humidité augmente.

On remarque que ces droites, pour les 6 fosses, n'ont pas toutes la même pente, ni les mêmes points de rencontre avec les axes.

Sur les fosses L et H, les pentes sont assez fortes, ce qui signifie que la résistance à la pénétration varie rapidement avec la teneur en eau. On rappellera que ces 2 fosses sont situées près d'un axe de drainage.

Sur les fosses C, I, et surtout E et K, les pentes sont plus faibles; elles correspondent à des variations moins importantes de la cohésion avec l'humidité.

Valentin (1981), s'intéressant à des sols du nord de la Côte-d'Ivoire, ajuste ses courbes de résistance à la pénétration en fonction de l'humidité pondérale sur des fonctions exponentielles décroissantes. Pour notre part, le nombre de points dans chaque cas est insuffisant pour permettre un ajustement valable, d'autant que la partie supérieure des profils suit un autre modèle (Cf. 4.2.2). Il est donc difficile de conclure quant à l'ajustement sur une droite ou sur une exponentielle.

Il est important de retenir qu'à partir d'une certaine profondeur (40 à 50 cm en général), la cohésion diminue quand la teneur en eau pondérale augmente. Cette diminution est plus marquée près des axes de drainage.

4.2.2 Partie supérieure des profils

En surface, et jusqu'à 50 cm, la relation entre cohésion et humidité est plus complexe.

* Pour les fosses E, I et K, les points correspondant aux profondeurs 10, 20 et 30 cm sont plus ou moins alignés sur une droite. Cette droite est à peu près parallèle à celle correspondant à la partie inférieure des profils.

Que ce soit en surface ou en profondeur, la diminution de la cohésion avec l'humidité est donc comparable, mais elle intervient, pour les horizons supérieurs, dans des gammes de cohésion et/ou d'humidité plus élevées. L'indice de prise en masse (Valentin, op. cit.) serait donc pratiquement le même dans les deux cas, mais l'indice de résistance intrinsèque serait plus élevé en surface.

A une humidité donnée, les horizons supérieurs sont donc plus cohérents que les horizons plus profonds; symétriquement, une cohésion donnée correspond à une humidité plus forte dans les horizons supérieurs.

D'après les résultats établis par Ehlers (cité par Billot, 1982) pour des horizons superficiels d'un sol limoneux travaillé, ceci pourrait s'expliquer par des densités apparentes plus fortes dans les horizons supérieurs.

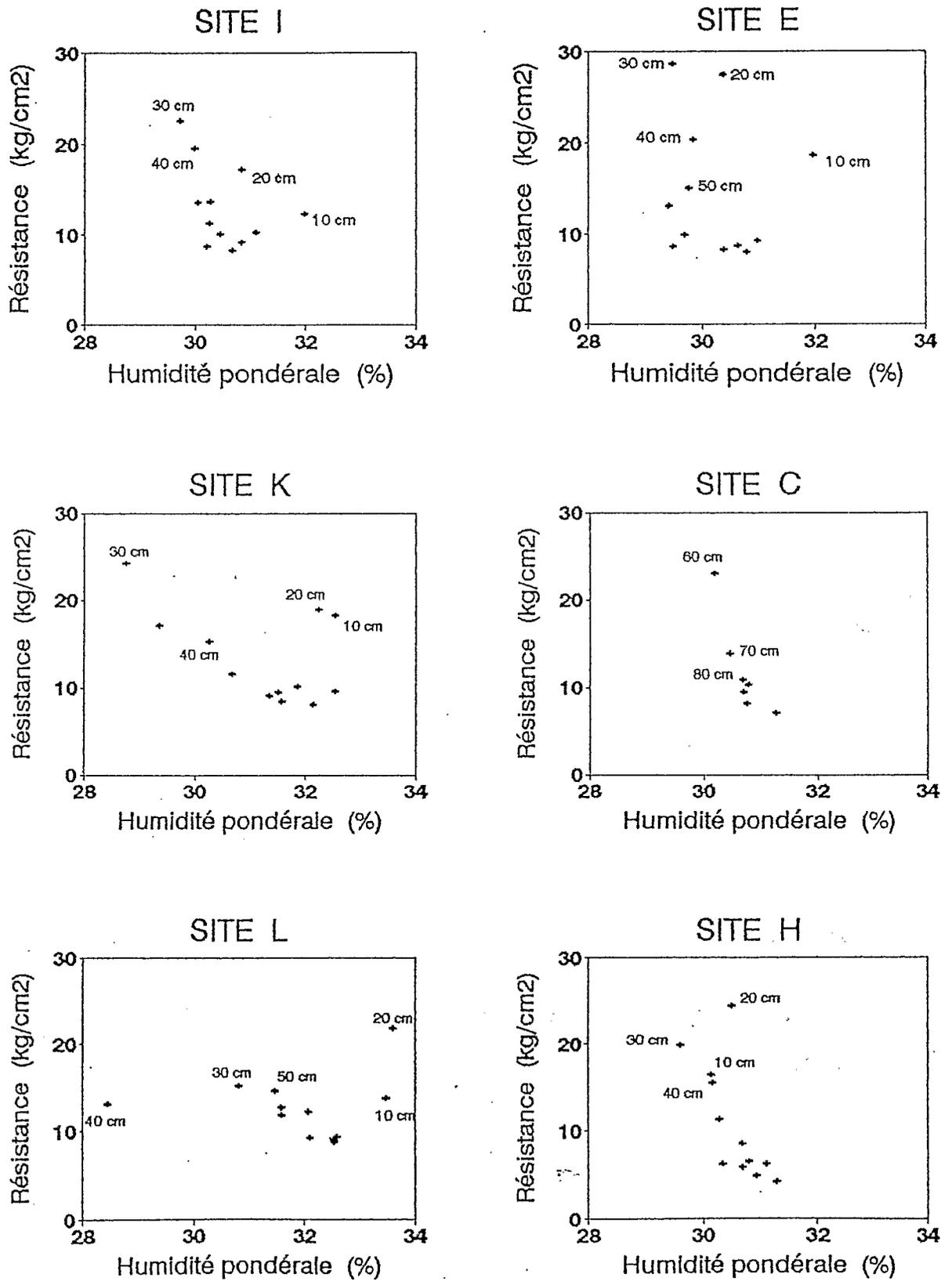
On note que pour la fosse E, le point correspondant à la profondeur 40 cm permet de raccorder la première droite (sommet de la fosse) à la seconde (base de la fosse). Il en est de même pour la fosse I à 40 cm.

* Pour la fosse C (creusée il y a quelques mois à 80 cm, et approfondie récemment à 150 cm), la diminution de cohésion est très rapide lorsque l'humidité croît, de 60 à 80 cm. D'après les données de Ehlers (cité par Billot, op. cit.), ceci semble correspondre à une densité apparente plus élevée à ces profondeurs que dans les niveaux sous-jacents.

* Pour les fosses H et L, l'évolution au sein des niveaux supérieurs est très différente.

La cohésion augmente avec l'humidité, fortement au niveau 10-20 cm, plus faiblement au niveau 20-30 cm (H) ou 20-50 cm (L). Ce type d'évolution est surprenant.

FIG. 5 : HUMIDITE ET RESISTANCE A LA PENETRATION (01.93)



Dans la fosse H, c'est surtout à 20 cm que la cohésion apparaît particulièrement importante compte tenu de l'humidité. On y observe un matériau plus cohérent et plus humide qu'à 10 ou 30 cm. Pour les sols considérés, et bien qu'on soit ici situé à proximité d'un axe de drainage secondaire, il est difficile d'expliquer ce phénomène par une accumulation d'eau au-dessus du niveau compact, car on n'y a jamais observé d'engorgement. Il est possible d'invoquer une diminution de la microporosité, mais celle-ci reste à justifier.

Dans la fosse L, on observe le même phénomène, les niveaux les plus compacts, 10 et 20 cm, étant également les plus humides. On note que la différence d'humidité avec les niveaux sous-jacents, 30 et 40 cm, est importante.

4.3 Synthèse (relation humidité - cohésion)

* A partir de 40 ou 50 cm de profondeur (80 cm pour C), on note pour tous les sites une diminution de la cohésion lorsque l'humidité augmente; cette diminution est plus rapide près des axes de drainage.

* En surface, jusqu'à 40 ou 50 cm, on distingue:

- les fosses H et L, situées près de l'axe de drainage, pour lesquelles la cohésion augmente lorsque l'humidité augmente, le niveau le plus compact étant donc le plus humide; ce phénomène reste difficile à expliquer (stagnation d'eau au-dessus du niveau le plus compact ? diminution de la microporosité ?);
- les autres fosses, pour lesquelles la cohésion diminue lorsque l'humidité augmente, comme à la partie inférieure des fosses; mais à une humidité donnée, ces horizons supérieurs sont plus cohérents que les horizons plus profonds, ce qui pourrait résulter de leur densité apparente plus élevée.

5. SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET CONCLUSIONS

Des mesures d'humidité pondérale ont été effectuées sur 8 sites, jusqu'à 3 m de profondeur. Sur 6 de ces 8 sites ont également été effectuées des mesures de résistance à la pénétration jusqu'à 1.50 m de profondeur.

L'objectif de ces mesures est d'améliorer notre connaissance des sols mis en culture dans le cadre de l'expérimentation centrale du projet IBSRAM, en particulier pour les blocs II (sites I, K, L) et III (sites E, C, H). Ceci permettra d'identifier les parcelles devant accueillir les dispositifs de mesures tensiométriques, humidi-neutroniques et de captage de solution du sol.

5.1 Profils hydriques

Les profils hydriques étudiés présentent une certaine homogénéité d'ensemble, avec des minima à 30-40 cm et des maxima vers 200-220 cm de profondeur.

Toutefois, des distinctions sont possibles entre:

- les sites K et L, plus humides en moyenne, mais avec de fortes variations verticales, en particulier des minima marqués;
- les sites C, D et E, dont les caractéristiques hydriques sont moyennes, bien qu'ils soient humides en profondeur;
- les sites A, H et I, moins humides, avec des variations verticales plus limitées.

Ces distinctions sont mal reliées aux données topographiques.

D'autres typologies, basées sur des caractéristiques partielles des profils, peuvent plus facilement être mises en relation avec la topographie:

- ainsi, au sommet des profils, les sites de milieu de versant sont plus humides que les sites plus amont et plus aval;
- à la base des profils, l'humidité décroît à l'amont et près de l'axe de drainage, mais reste plus stable ailleurs;
- sous le minimum observé à 30-40 cm de profondeur, l'humidité reste stable sur environ 50 cm pour les sites de crête, augmente lentement vers l'aval, rapidement pour les sites les plus humides.

Il semble qu'on puisse distinguer 3 compartiments (sommet du profil, zone sous le minimum, base du profil), au sein desquels les variations d'humidité avec la topographie sont relativement indépendantes de celles des autres compartiments.

Les sites L et K sont plus humides que tous les autres. Les sites H et L voient leur humidité décroître en profondeur. Par rapport au problème posé, ces 3 sites sont donc peu indiqués pour recevoir les dispositifs tensio-neutroniques et de captage de solution.

Les sites C, E et I, aux caractéristiques hydriques plus moyennes, semblent favorables.

5.2 Profils pénétrométriques

Comme pour les profils hydriques, on constate une certaine homogénéité d'ensemble des 6 profils pénétrométriques étudiés, avec des maxima marqués entre 20 et 35 cm de profondeur, et des cohésions faibles à partir de 80 cm.

Des différences existent toutefois entre:

- l'aval et l'amont, le sommet du profil (jusqu'à 50 cm) montrant des maxima plutôt plus élevés et plus superficiels vers l'aval; en revanche, à la base du profil, les cohésions sont plus élevées à l'amont qu'à l'aval
- la crête et la bordure de l'axe de drainage, le sommet du profil montrant des maxima plus superficiels vers l'axe de drainage que sur la crête; à la partie inférieure du profil, les cohésions sont plus élevées sur la crête.

Il est possible que la partie supérieure des profils ait été tronquée vers l'aval et l'axe de drainage.

Les fosses E et H, vers l'aval, connaissent les variations verticales les plus fortes, avec des valeurs élevées (surtout E) jusqu'à 35 cm de profondeur, puis faibles (surtout H) à partir de 45 cm.

Les 3 fosses I, K et L, du bloc II, montrent des variations plus limitées et moins individualisées, ce qui semble plus favorable à l'implantation des dispositifs envisagés (on notera toutefois, sur la fosse L, des valeurs faibles de 30 à 40 cm).

Il est difficile d'intégrer la fosse C dans cette analyse, puisqu'elle a été étudiée seulement à sa partie inférieure.

5.3 Relations entre profils hydriques et pénétrométriques

En comparant les profils hydriques et les profils pénétrométriques, on distingue:

- les sites C, E, I et K, situés loin de l'axe de drainage, pour lesquels la cohésion diminue lorsque l'humidité augmente; cette diminution n'est pas régulière, puisqu'elle intervient, pour les 30 ou 40 premiers centimètres, dans des gammes de cohésion plus élevées; ce dernier point pourrait être lié à des densités apparentes plus élevées;

- les sites H et L, situés près de l'axe de drainage, qui montrent une évolution similaire à partir de 40 ou 50 cm de profondeur, l'augmentation d'humidité s'accompagnant d'une diminution de cohésion; mais à la partie supérieure du profil, la cohésion augmente en même temps que l'humidité; ce fait reste difficile à expliquer.

Les deux fosses situées près de l'axe de drainage apparaissent moins favorables à l'installation des dispositifs de mesures, du fait de cette inversion de la relation humidité-cohésion vers 40-50 cm de profondeur.

5.4 Choix des parcelles

Les sites qui paraissent peu favorables à l'installation des dispositifs de mesures envisagés sont:

- L, K et H, sur la base de l'étude des profils hydriques;
- E et H (et L), sur la base de l'étude des profils pénétrométriques;
- L et H, sur la base de la comparaison profils hydriques - profils pénétrométriques.

L et H s'avèrent donc particulièrement contre-indiqués, E et K pouvant également être écartés.

On envisageait d'installer les dispositifs de mesures sur les blocs II ou III, pour 3 traitements:

- (2), savane-témoin;

- (4), bas-intrant à "entrée" manioc;
- (6), haut-intrant à "entrée" manioc.

En écartant L et H, on écarte le traitement (4), "bas-intrant manioc", au sein des 2 blocs II et III.

On peut envisager d'adjoindre aux traitements (2) et (6), pris dans les blocs II ou III, un traitement (4) pris dans l'un des blocs I ou IV.

On remarque que le traitement (4) du bloc IV est proche du traitement (6) du bloc III (site E), et qu'il est à une altitude voisine de celle du traitement (6) de ce même bloc III (site C). On peut donc envisager d'installer les dispositifs de mesures sur les sites C (traitement (2) bloc III), E (traitement (6) bloc III) et sur le site du traitement (4) bloc IV (noté IV4).

Mais nous disposons de peu d'éléments pour comparer ce site IV4 aux autres sites, et donc apprécier l'opportunité de son intégration dans le dispositif de mesures.

L'étude des profils hydriques a montré des caractéristiques assez voisines sur les sites C, D et E. On peut supposer que IV4 présente des caractéristiques hydriques proches de celles des 3 sites, puisqu'il est sur la crête comme E, et à une altitude intermédiaire entre celles de C et D.

Concernant les profils pénétrométriques, on peut se reporter aux mesures effectuées en mai 1992 (Barthès et al., op. cit. et fig. 3 du présent document). Celles-ci montraient pour les deux fosses C et D des profils assez voisins (quoique très différents de ceux observés en janvier 1993 sur les 6 fosses étudiées; cf. 3.2.7). Il est possible que le site IV4 présente des caractéristiques pénétrométriques proches de celles des sites C et D.

Enfin, même si les 3 sites C, E et IV4 semblent peu différents, les éléments manquent pour valider tout à fait le choix proposé.

Les résultats d'analyses chimiques, voire granulométriques, permettront peut-être de préciser ce choix.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

B. Barthès, C. Hartmann et B. Nyeté, 1992.- Mesures de résistance à la pénétration sur 4 fosses du site IBSRAM à Loudima. DGRST-ORSTOM, Brazzaville, 7 p.+ 3 fig.

J.F. Billot, 1982.- Les applications agronomiques de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés. Sc. du sol, 3: 187-202.

IBSRAM (International Board for Soil Research and Management Incorporated), 1991.- Etude comparative de quatre systèmes de culture à base manioc, un témoin et trois systèmes plus ou moins intensifiés en milieu paysan dans la vallée du Niari. Proposition de projet. IBSRAM, Abidjan, 36 p.

- B. Nyeté, 1992.- Projet IBSRAM-Congo: caractérisation du site d'expérimentation. DGRST-ORSTOM, Brazzaville, 5 p. + 12 fig.
- C. Valentin, 1981.- Résistance mécanique à la pénétration de quelques sols ferrallitiques (nord de la Côte-d'Ivoire). ORSTOM, Abidjan, 29 p.