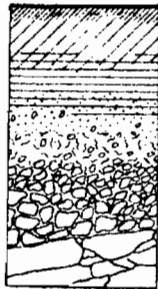


REPUBLIQUE DE
CÔTE D'IVOIRE

AUTORITE POUR L'AMENAGEMENT
DE LA VALLEE DU BANDAMA

**MORPHOLOGIE ET COMPORTEMENT MECANIQUE
DES SOLS DE LA REGION CENTRE
EN CULTURE SEMI-MECANISEE**



Laboratoire de Pédologie

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ABIDJAN - CÔTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN

Ph. de BLIC

Juin 1978

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUME

Laboratoire de Pédologie

MORPHOLOGIE ET COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES
SOLS DE LA RÉGION CENTRE EN CULTURE SEMI-MÉCANISÉE.

par

Ph. de BLIC

INTRODUCTION

Deux enquêtes pédologiques menées en 1974 et 1975 sur les blocs de cultures semi-mécanisées de la région Centre ont permis d'effectuer un inventaire des principales contraintes liées aux caractères des sols.

Nous nous sommes attachés plus spécialement à l'étude des contraintes qui affectent le sol en tant que milieu physique c'est à dire qui influent sur l'enracinement des plantes cultivées et sur les possibilités d'infiltration de l'eau. Bien que particulièrement sévères ce sont peut-être celles auxquelles on peut le plus facilement remédier et au moindre coût. Leur maîtrise n'exige en effet qu'une bonne adéquation des techniques culturales à chaque terroir et donc une bonne connaissance du comportement mécanique des matériaux pédologiques suivant l'état d'humidité.

Outre la sensibilité à la battance, l'aptitude au compactage est une des contraintes que l'on retrouve le plus constamment dans la morphologie des sols cultivés de la région Centre. Elle fera donc l'objet d'une étude détaillée.

L'analyse du comportement mécanique des matériaux devra en fin de compte se traduire en gammes d'humidité utilisables pour les diverses interventions culturales. C'est la démarche que nous tenterons étant bien entendu qu'il ne faudra pas attendre là de recette toute faite mais seulement de meilleures possibilités d'interprétation des diagnostics que l'on peut faire sur le terrain.

CHAPITRE I - ENQUETES PÉDOLOGIQUES, CONTRAINTES

Une enquête pédologique fondée sur l'analyse comparée d'un certain nombre de sols évoluant, les uns en milieu cultivé, les autres sous différentes conditions d'environnement naturel (granites, schistes, recrus forestiers, savane) a permis de mettre en évidence un certain nombre de contraintes pédologiques. Certaines de ces contraintes sont héritées du milieu naturel c'est à dire préexistantes à la mise en culture, d'autres sont liées à diverses propriétés des sols mais n'apparaissent que sous l'effet de la mise en culture.

Avant de rappeler les observations morphologiques réalisées au cours de cette enquête il nous paraît utile de définir rapidement les termes utilisés dans les descriptions.

1 - Définitions préliminaires

11. Horizons pédologiques

APPUMITE : Désigne la partie supérieure des sols humifère et appauvrie en argile et en sesquioxydes. L'appumite se subdivise généralement en deux sous-horizons :

- un appumite supérieur (0 - 8/10 cm),
- un appumite inférieur moins humifère.

STRUCTICHRON DYSROPHE : transition entre l'appumite et les horizons plus profonds, il est caractérisé par une imprégnation organique plus ou moins homogène responsable d'une coloration terne.

STRUCTICHRON : c'est un horizon minéral meuble qui possède une organisation structurale proprement pédologique. Il présente le maximum de différenciation de la couleur jaune ou rouge caractéristique du profil. La couleur y est homogène. Il peut contenir des gravillons, graviers, cailloux.

- GRAVOLITE** : désigne des concentrations importantes de gravillons ferrugineux (au moins 45%).
- ARUMITE** : désigne la partie supérieure des sols transformée par les techniques culturales responsables de traits morphologiques spécifiques et variés à caractère essentiellement temporaire. Il correspond à l'horizon cultural.

12. Caractères structuraux

- AMERODE** : structure continue, massive.
- PAUCICLODE** : présence de faces structurales planes qui n'isolent pas ou très peu d'agrégats polyédriques.
- ANGUCLODE** : faces structurales planes à arêtes marquées qui délimitent des agrégats polyédriques ou cubiques.
- GRUMOCLODE** : agrégats arrondis bien formés et isolés.
- AROCLODE** : se dit d'une structure à éléments nettement séparés où peuvent être juxtaposés des individus de formes, dimensions et cohésions très variées. Cette structure est liée aux techniques culturales.

2 - Enquête Béoumi sur granites

21. Morphologie des sols naturels

Les profils observés, tant sous savane que sous recrus forestiers diversément développés, montrent en général à leur partie supérieure la succession d'horizons suivante :

- un appumite supérieur épais de 8 à 10 cm, à structure anguclide ou grumoclude fine, cohésion faible, enracinement élevé,

- un appumite inférieur épais de 10 à 15 cm, à structure anguclode grossière ou pauci-amérode, cohésion moyenne, enracinement élevé à moyen,
- un structichron dyscrophe à structure généralement amé-
rode, plus rarement anguclode ou pauciclude (recrus
forestiers), cohésion forte, enracinement moyen à faible
- un structichron ou un gravolite.

Quelle que soit leur abondance les racines sont bien réparties au sein de chaque horizon.

Tableau 1 - Distribution des horizons pédologiques sous savane et sous recruses forestiers suivant leur morphologie.

6 profils de recruses 7 profils de savane	Appumites supérieurs		Appumites inférieurs		Structichrons dyscrophes	
	Recruses	Savane	Recruses	Savane	Recruses	Savane
Structure :						
grumoclude-anguclode fine	4	6	—	—	1	—
anguclode grossière	2	1	5	3	2	—
pauci-amérode	—	—	1	3	1	2
amérode	—	—	—	1	2	5
Cohésion						
faible	5	5	1	2	—	—
moyenne	1	2	5	2	1	3
forte	—	—	—	3	5	4
Enracinement						
élevé	6	6	3	3	1	—
moyen	—	1	3	2	2	2
faible	—	—	—	2	3	5

211. Les appumites supérieurs

Ils présentent tous des structures de type anguclode ou, plus rarement, grumoclude. La taille des agrégats est généralement fine à moyenne, liée à une densité élevée de racines fines.

La netteté de la structure est assez significativement liée aux conditions stationnelles : on n'observe de structures nettes que sous recruses forestiers denses, de structures peu nettes que sous savane (tableau 2).

La cohésion est généralement faible, l'enracinement toujours élevé.

Tableau 2 - Distribution des appumites supérieurs suivant la netteté de la structure.

	Recrus bien développés	Recrus peu développés	Savane
Structure nette	3	—	—
Structure assez nette	1	2	3
Structure peu nette	—	—	4

212. Les appumites inférieurs

On observe toujours un élargissement de la structure qui devient :

- soit anguclide moyenne à grossière, c'est le cas des horizons forestiers et d'une partie des horizons de savane,
- soit pauci-amérode ou pauciclude, essentiellement sous savane,
- soit, plus rarement, amérode.

La cohésion est toujours moyenne sous recru forestier, moyenne à forte sous savane. L'enracinement est élevé à moyen sous recru, variable sous savane.

213. Les structichrons dyscrophes

Sous recru forestier la structure est très variable dans une gamme allant de anguclide fin à amérode. La cohésion est généralement forte et l'enracinement variable.

Sous savane on observe le plus souvent des structures amérodés. La cohésion est moyenne à forte, l'enracinement faible.

22. Morphologie des sols cultivés

Toujours très nette la limite inférieure des arumites se surimpose fréquemment à une limite pédologique préexistante (passage appumite-structichron dyscrophe).

221. Les arumites

Epais en moyenne de 15 à 20 cm ils sont caractérisés par une hétérogénéisation très nette de la structure par rapport aux appumites : des volumes amérodés fortement cohérents sont juxtaposés avec des volumes faiblement cohérents à structure généralement aroclode. Les volumes les plus cohérents correspondent souvent à des passages de roues de tracteur (travail en conditions humides).

Les traits structuraux hérités - et plus particulièrement ceux des appumites inférieurs - sont souvent susceptibles de jouer un rôle important dans la création d'un état structural défavorable et peuvent constituer un facteur très net d'hétérogénéisation. Il n'en demeure pas moins que les conditions de travail du sol représentent dans la moitié au moins des situations observées une contrainte majeure pouvant favoriser une reprise en masse du matériau.

L'enracinement est très inégalement réparti : localisé dans les volumes faiblement cohérents, il est quasi nul dans les volumes amérodés.

222. Les structichrons dyscrophes

Séparés des arumites par une limite culturelle nette ils n'ont été que peu modifiés par la mise en culture. On notera cependant, par rapport à leurs homologues du milieu naturel :

- une péjoration très nette de l'enracinement (nul à faible),
- la présence plus fréquente de structures amérodés.

23. Les densités apparentes

Elles permettent de préciser les observations morphologiques. Le *tableau 3* présente les valeurs médianes relevées dans les trois types d'horizons.

Tableau 3 - Densités apparentes médianes.

	Appumite supérieur	Appumite inférieur	Arumite
Recrus forestiers	1,11	1,26	1,36
Savane	1,31	1,38	1,45

Si l'on établit des corrélations de rang entre les valeurs de densité apparente, les teneurs en carbone total et les teneurs en argile plus limons fins, on constate que :

Il existe, dans le milieu naturel étudié, une corrélation positive très étroite entre taux de matière organique et richesse en éléments fins. Ceci étant les densités apparentes que l'on relève dans les appumites sont en corrélation négative étroite avec les quantités de matières organiques et la richesse en éléments fins.

Défrichement et mise en culture détruisent l'équilibre naturel existant entre la texture et le niveau organique. La densité apparente reste en corrélation négative étroite avec la richesse en éléments fins mais ne présente plus par contre de liaison significative avec les taux de matières organiques.

3 - Enquête Boyakro sur schistes

1°) La présence à faible profondeur d'un gravolite, et ce quelle que soit la position topographique des sols, est un trait caractéristique du paysage pédologique de Boyakro. Ce gravolite est généralement assez bien pénétré par les racines.

2°) Les appumites présentent tous des porosités très élevées dans les dix premiers cm, élevées dans les dix cm suivants. L'activité biologique y est forte, la densité racinaire élevée.

3°) La limite inférieure de l'appumite marque le plus souvent une discontinuité très nette en ce qui concerne la compacité. On passe alors soit à un gravolite, soit à un structichron dyscrophe amérode et très cohérent. Cette discontinuité peut constituer une contrainte sérieuse vis à vis de la mise en culture.

4°) A la partie supérieure des sols cultivés on note fréquemment la présence de croûtes de battance épaisses et stratifiées (un centimètre et plus) qui peuvent modifier considérablement le régime hydrique des sols.

5°) Les arumites correspondent en gros aux appumites. L'incorporation de matériaux plus profonds, à la suite des opérations de défrichement, est extrêmement variable. D'une manière générale on peut distinguer deux sous-horizons très différenciés quant à leur morphologie et leur comportement :

- Un arumite supérieur épais de 5 à 15 cm affecté par toutes les techniques culturales que ce soit le labour, les pulvérisages, les sarclages. Les organisations structurales que l'on y rencontre ont un caractère temporaire. Leur différenciation se fait essentiellement suivant un mode latéral : lignes de culture, tassements sous les roues de tracteur . C'est ainsi que l'on observe souvent :

- des structures aroclodes avec des porosités élevées et de fortes densités racinaires sous les lignes de culture,
- des structures amérodes avec des porosités faibles à moyennes et un enracinement médiocre dans les zones tassées par les roues de tracteur.

La limite inférieure, toujours nette, correspond fréquemment à une semelle de labour ou de pulvérisage.

- Un arumite inférieur épais de 10 à 15 cm. Créé lors de la défriche il n'est ensuite affecté que par les labours les plus profonds. La différenciation latérale est peu marquée, pratiquement limitée aux raies de sous-solage datant de la défriche. Les structures y sont généralement amérodes, les porosités faibles. Cet horizon est parfois le plus compact du profil.

On peut parfois mettre en évidence un arrière effet favorable du sous-solage de défriche qui crée un milieu favorable aux techniques culturales ultérieures.

L'enracinement des plantes cultivées est concentré dans l'arumite supérieur, en dehors des volumes tassés. L'arumite inférieur constitue un obstacle majeur à la pénétration racinaire.

6°) Les densités apparentes médianes sont les suivantes :

appumites supérieurs	1,11
appumites inférieurs	1,24
arumites supérieurs	1,25
arumites inférieurs	1,47

4 - Défrichement et mise en culture

Les opérations de défrichement que nous avons observées en 1973 à Yoboué N'Zué et en 1974 à Abouakro ont comporté :

- l'abattage de la végétation préexistante (recrus forestiers et savane) au bulldozer,
- un andainage sur des lignes distantes de 50 m et disposées au plus près possible des courbes de niveau,
- l'arrachage des racines par sous-solage à 30 cm de profondeur.

La morphologie des sols naturels était la suivante :

Yoboué N'Zué, savane	0-10 cm	appumite grumoclode,
	10-20 cm	appumite anguclode,
	20-30 cm	structichron dyscrophe amérode,
	+ 30 cm	structichron amérode
Yoboué N'Zué, forêt	0-10 cm	appumite grumoclode,
	10-20 cm	appumite anguclode,
	20-35 cm	structichron dyscrophe pauci-amérode,
	+ 35 cm	structichron amérode.
Abouakro, savane	0-10 cm	appumite grumo-anguclode,
	10-20 cm	appumite pauciclode,
	20-30 cm	gravo-structichron dyscrophe,
	+ 30 cm	gravolite.
Abouakro, forêt	0-10 cm	appumite anguclode,
	10-25 cm	appumite grävillonnaire pauciclode,
	25-40 cm	gravo-structichron dyscrophe,
	+ 40 cm	structichron-gravolite anguclode fin.

Après défrichement les sols de savane apparaissent relativement peu perturbés. En dehors de quelques zones localisées de dessouchage d'arbres les remaniements sont pratiquement limités aux raies de sous-solage distantes de 90 cm. Les dents ont fait éclater partiellement l'horizon humifère et rejeté de part et d'autre un mélange de mottes et de terre fine qui est venu recouvrir plus ou moins largement l'ancienne surface enherbée (*Figure I, Abouakro*). Sous l'horizon humifère l'action des dents se réduit à l'ouverture d'un sillon étroit à parois souvent lissées. On n'observe pas de remontées de gravillons en surface.

Figure 1 – Défriche de savane, sous-solage

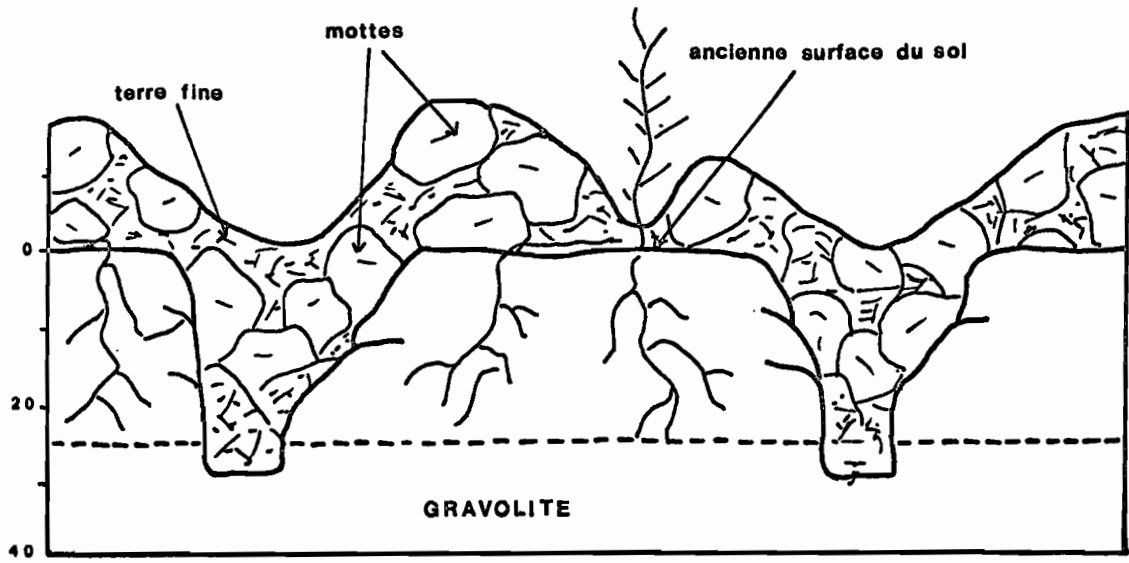


Figure 2 – Défriche forestière, sous-solage

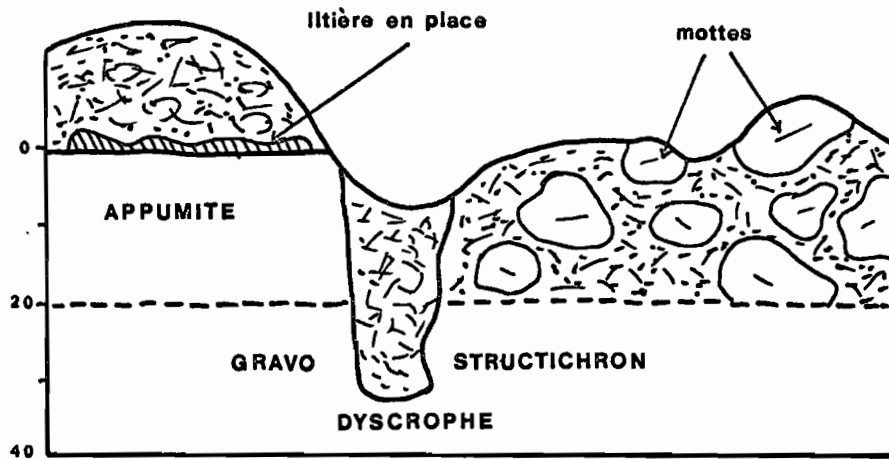
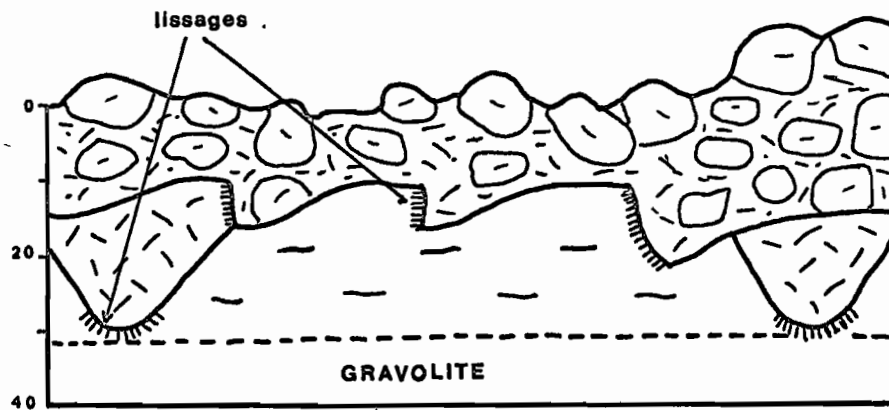


Figure 3 – Après sous-solage et passage de roto-plow



En zone forestière les perturbations ont été plus importantes et présentent une plus grande diversité de caractères :

- comblement des trous de dessouchage par des matériaux hétérogènes,
- décapages fréquents de l'appumite supérieur,
- remaniements importants dûs à l'arrachage des racines concentrées dans les 30 cm supérieurs,
- tassements dûs aux manoeuvres des engins chenillés,
- épandages de termitières.

Sur la *figure 2* on peut observer à droite une zone entièrement remaniée par l'arrachage des racines. Après décapage partiel de l'appumite un mélange hétérogène de mottes et de terre fine repose sur le gravolite. La partie gauche au contraire est peu touchée, un épandage de terre meuble vient recouvrir la litière restée en place.

La *figure 4* montre le détail d'une raie de sous-solage (Abouakro).

La préparation du sol pour la première culture a ensuite comporté à Abouakro un pulvérisage lourd (rome plow) et à Yoboué N'Zué un labour à la charrue à disques suivi de deux pulvérisages légers.

Le profil cultural de la *figure 3* a été examiné à Abouakro en zone de savane, immédiatement après passage du rome-plow. Le travail, effectué en conditions assez humides, n'a intéressé que les 10 à 15 cm supérieurs qui apparaissent constitués d'un mélange assez homogène de terre fine et de mottes inférieures à 10 cm. Une semelle de quasi-labour compactée et lissée marque une limite nette avec l'horizon sous-jacent peu structuré et demeuré pratiquement intact. Seules les raies de sous-solage l'ont entaillé, elles sont comblées de terre fine meuble.

Les *figures 4 et 5* montrent deux exemples d'une préparation à la charrue à disques suivie de deux pulvérisages, observés à Yoboué N'Zué. Si la profondeur de travail est un peu plus grande qu'à Abouakro la structure est souvent beaucoup plus hétérogène et moins favorable à l'infiltration des eaux de pluie. On observe en effet souvent (*Figure 5*) un empilement de couches de terre sub-

Figure 4 – Sous-solage, détail

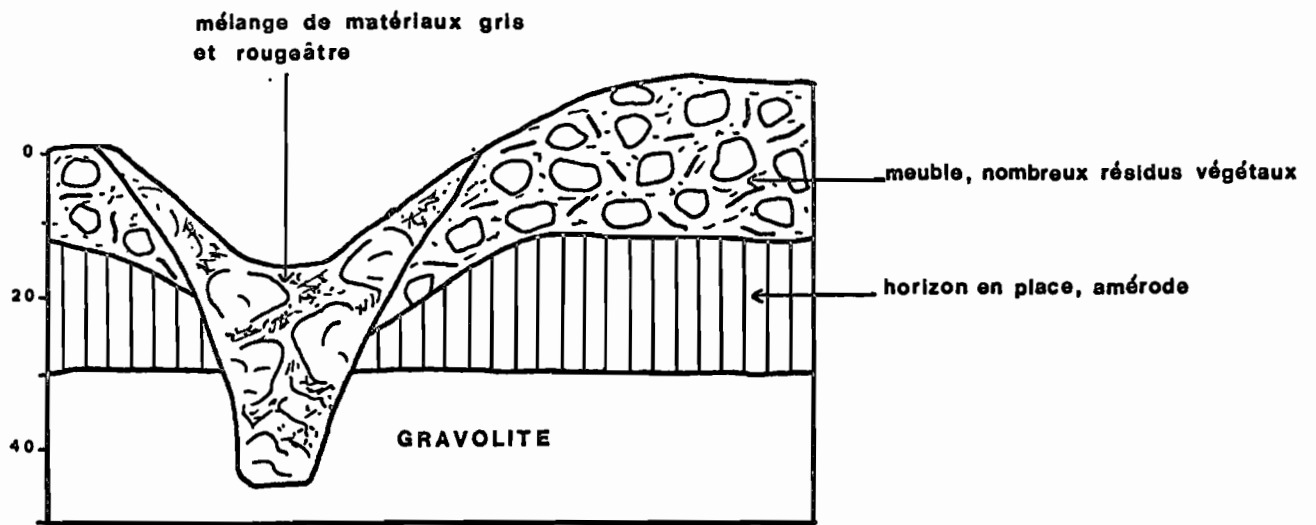


Figure 5 – Défriche de savane après labour et pulvérisage

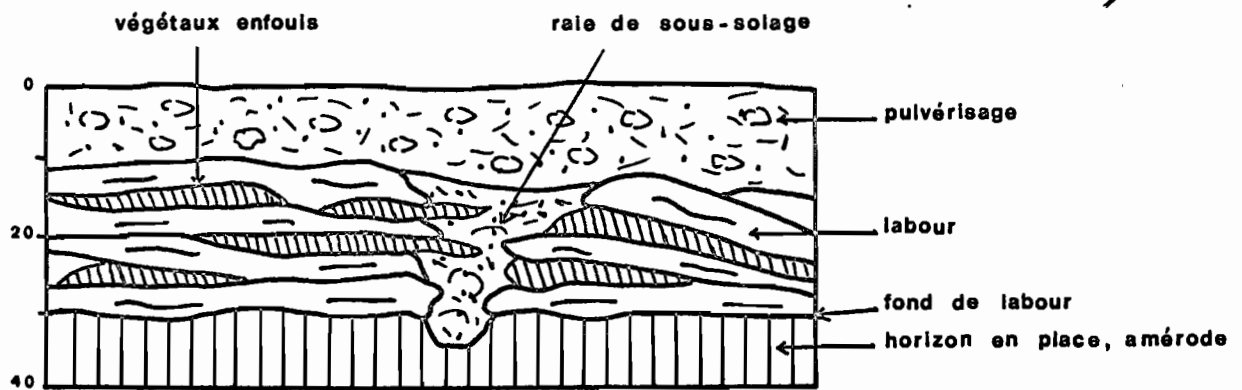
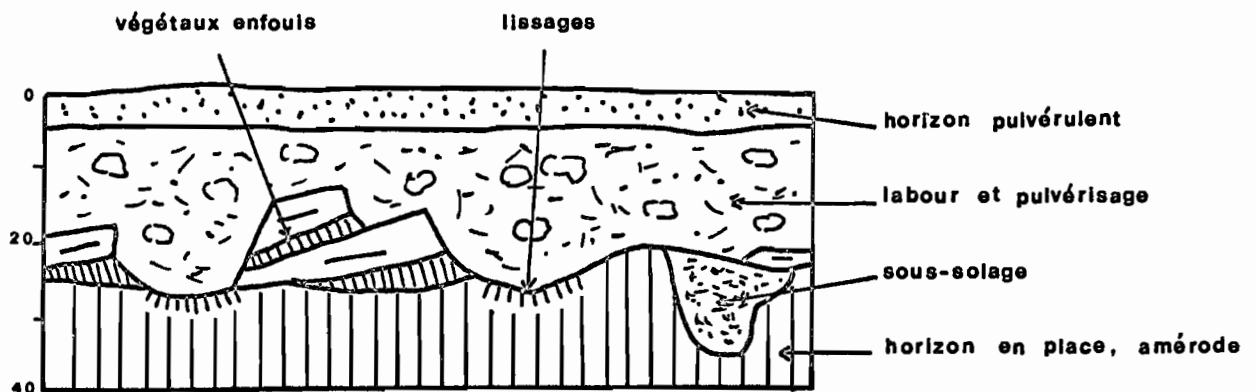


Figure 6 – Défriche forestière après labour et pulvérisage



horizontales ou en "pile d'assiettes" séparées par des lits de végétaux enfouis. La *figure 6* montre par contre un travail très comparable à celui du rome-plow parce que effectué sur un matériau déjà bien fragmenté par le défrichement (défriche forestière).

La préparation au rome-plow crée un arumite plus homogène et mieux structuré dans son ensemble que la combinaison charrue à disques et pulvériseur léger. Elle a en outre l'avantage de limiter les passages d'engins. Son seul inconvénient : le manque de profondeur, surtout en savane où le sol n'est que très peu disloqué au cours du défrichement. Une amélioration pourrait consister à réduire, de moitié par exemple, la distance qui sépare les raies de sous-solage (90 cm actuellement). La *figure 1* montre que le sol pourrait alors être disloqué de manière à peu près homogène sur 30 à 40 cm de profondeur.

Il faudra aussi veiller soigneusement aux conditions d'humidité du sol lors de la préparation au rome-plow afin d'éviter la formation d'une semelle de quasi-labour.

5 - Inventaire des contraintes pédologiques

L'observation des profils culturaux, leur comparaison avec les profils naturels, permettent d'inventorier un certain nombre d'organisations pédologiques susceptibles de représenter des contraintes majeures vis à vis des plantes cultivées par le rôle important qu'elles jouent sur l'enracinement et sur la dynamique de l'eau dans les sols.

Certaines de ces contraintes, directement héritées du milieu naturel, préexistent à la mise en culture. D'autres sont liées à certaines propriétés des sols mais n'apparaissent que sous l'effet des techniques culturales.

51. Contraintes héritées

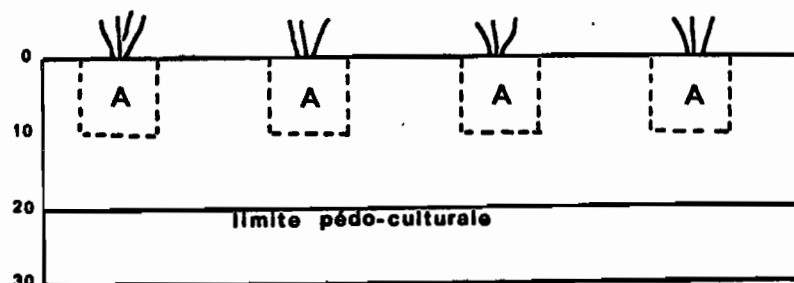
Elles tiennent à la forte différenciation pédologique verticale que l'on observe dans les sols naturels :

- Elargissement très rapide de la structure avec la profondeur dans les appumites. Rappelons que les appumites inférieurs ont souvent des caractères structuraux médiocres, d'où une source possible d'hétérogénéisation dans les arumites.
- Existence d'une discontinuité très marquée entre appumite et structichron dyscrophe. Souvent située à 20-25 cm de profondeur cette discontinuité coïncide souvent par la suite avec la profondeur de labour, c'est à dire avec la base des arumites. Elle constitue alors un obstacle sérieux à la pénétration racinaire.
- Caractères structuraux souvent peu favorables du structichron dyscrophe, surtout dans les sols de savane et sur schistes : forte compacité, structures pauciclodes à amérodés, macroporosité faible. Il est à noter que les structichrons dyscrophes gravillonnaires présentent en général des caractères bien plus favorables à l'enracinement et à la circulation de l'eau.

52. Contraintes créées par la mise en culture

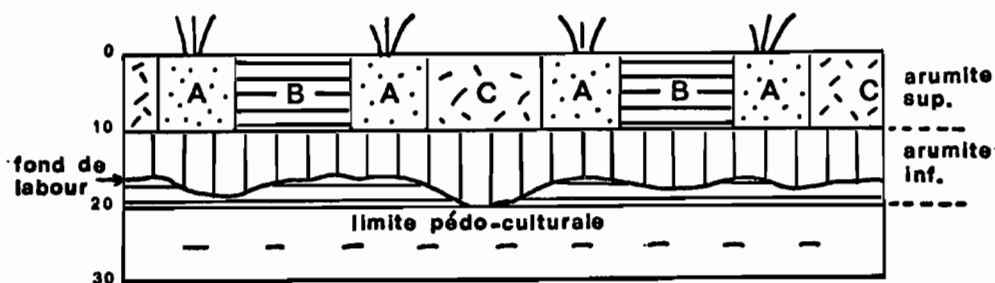
521. Différenciation pédologique

L'idéal serait bien entendu d'avoir un arumite aussi épais que le permet la profondeur de labour, homogène, présentant des structures de type grumoclode dans les zones d'enracinement maximum et anguclode moyen à fin dans les zones d'enracinement moindre. Cet arumite idéal peut être schématisé de la manière suivante :



La seule différenciation que l'on peut observer (en dehors de l'affinement dû au pulvérisage) est issue de l'implantation de la culture en lignes : une densité racinaire plus élevée sous les lignes provoque localement un affinement de la structure. Cette différenciation reste cependant très graduelle et l'on observe plutôt des gradients que des volumes nettement individualisés.

Malheureusement les profils culturaux que l'on observe le plus souvent se rapprochent davantage du schéma suivant :



Les organisations pédologiques que l'on peut observer sur ce schéma et, plus généralement, dans la plupart des sols cultivés résultent de deux types de différenciation :

- Une différenciation verticale qui peut être due,
 - à un labour peu profond ne reprenant qu'une partie de l'arumite,
 - à une fragmentation très hétérogène lors du labour, seul l'arumite supérieur étant alors affiné par le pulvérisage,
 - à une compaction généralisée de l'arumite inférieur sous l'effet d'un pulvérisage effectué en conditions trop humides ; cette compaction se traduit par la création d'une structure pauci-amérode, voire même amérode.
- Une différenciation latérale surtout marquée dans l'arumite supérieur et qui se traduit alors par la répétition, généralement périodique, de volumes bien individualisés. C'est ainsi que l'on observe souvent :
 - des structures aroclodes fines à grumo-anguclodes sous les lignes de culture (volumes A),

- des structures amérodés avec des porosités faibles dans les interlignes tassés par les roues de tracteur au cours d'un semis effectué dans de mauvaises conditions d'humidité (volumes B),
- des structures pauciclodes à angu-pauciclodes dans les interlignes moins tassés (volumes C).

Seuls les volumes A constituent alors un milieu favorable au développement racinaire. Un tel schéma de différenciation représente une contrainte susceptible d'influer directement sur le développement du système racinaire en cas d'insuffisance hydrique au cours du cycle cultural.

522. Stabilité structurale

On observe toujours, quel que soit le type de sol, une chute importante de la stabilité structurale dès le défrichement. Il s'agit souvent d'une contrainte qui existait déjà à l'état potentiel dans le milieu naturel : les appumites inférieurs montrent fréquemment, surtout sur schistes, une instabilité structurale marquée, instabilité qui ne se manifeste guère dans le milieu naturel par suite des caractères favorables de l'environnement. Par contre elle s'exprime dès la mise en culture en raison des conditions de milieu nettement plus agressives qui prévalent alors (exposition directe aux agents atmosphériques, contraintes mécaniques).

CHAPITRE II - COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES SOLS

Afin d'essayer de mieux comprendre le mécanisme des contraintes créées par les techniques culturales nous avons sélectionné un certain nombre (34) de matériaux pédologiques de manière à couvrir toute la gamme régionale des textures et teneurs en matières organiques. Ces matériaux se répartissent de la manière suivante :

- 8 appumites supérieurs 0-10 cm,
- 8 appumites inférieurs 10-20 cm correspondant aux mêmes profils,
- 18 arumites 0-20 cm.

10 de ces matériaux sont issus de schistes, 24 de granites. Les observations et mesures ont comporté, pour chaque matériau :

- une caractérisation morphologique in situ,
- des mesures de densité apparente in situ de manière à caractériser chacun des volumes entrant dans les schémas de différenciation observés,
- la constitution d'échantillons composite à partir de 12 prélèvements élémentaires effectués à l'aide d'une sonde autour des profils,
- la détermination des caractères analytiques classiques,
- la détermination des limites d'Atterberg,
- une courbe de compactage en fonction de l'humidité suivant la méthode Proctor,
- la détermination de la résistance à la pénétration en fonction du taux d'humidité, sur éprouvettes compactées de manière standard.

1 - Morphologie et densité apparente

11. Les appumites

Les appumites supérieurs présentent des structures angulocloses et grumocloses. Les densités apparentes sont comprises entre 0,90 et 1,20 avec une valeur médiane de 1,10.

Les appumites inférieurs sont anguclodes, plus rarement pauciclodes, les densités apparentes vont de 1,20 à 1,35 avec une médiane de 1,25.

12. Les arumites

La morphologie des arumites ne peut être décrite comme celle des appumites car :

- les organisations pédologiques que l'on y rencontre ont un caractère temporaire lié à un type d'intervention humaine bien déterminé,
- leur différenciation se fait suivant un mode latéral aussi bien que vertical.

La notion classique d'horizon pédologique ne suffit plus et il faut descendre à un niveau de diagnose inférieur, celui du *volume homogène*. Cette entité morphologique de base correspond à l'extension spatiale d'un type structural déterminé ou d'une association bien définie de types structuraux organisés suivant un schéma répétable à une échelle réduite (dm par exemple). D'autres caractères tels que la cohésion, la densité apparente, l'enracinement, les distinguent en général nettement des entités adjacentes.

La description d'un arumite à un instant donné comporte donc :

- l'inventaire et la caractérisation des différents volumes homogènes qui le constituent,
- l'organisation spatiale et l'importance relative de ces volumes au sein de l'arumite. On peut alors mettre en évidence des *schémas de différenciation* organisés ou anarchiques (Beaudou, de Blic, 1978).

Les schémas morphologiques présentés en annexe montrent comment s'organisent ces volumes dans les arumites. Chaque volume est caractérisé par sa structure et sa densité apparente. Ces structures peuvent être regroupées en trois grands ensembles :

- un ensemble à dominante amérode,
- un ensemble à dominante pauciclode,
- un ensemble à dominante fragmentaire.

Il est alors possible de replacer chaque arumite sur un diagramme triangulaire suivant l'importance relative de ces trois types de volumes structuraux (*Figure 7*).

Nous avons estimé l'amplitude des différenciations verticales ou latérales à partir des écarts maximum de densité apparente que l'on observe dans chaque arumite (écart dans le sens horizontal, écart dans le sens vertical).

C'est ainsi que dans l'arumite n°1 ces écarts sont respectivement :

$$1,70 - 1,25 = 0,45 \text{ horizontalement}$$

$$1,30 - 1,27 = 0,03 \text{ verticalement}$$

Des flèches de longueurs proportionnelles à ces écarts symbolisent l'amplitude des différenciations : flèches verticales pour les différenciations verticales, horizontales pour les différenciations latérales. Un code précise ces amplitudes suivant l'échelle suivante :

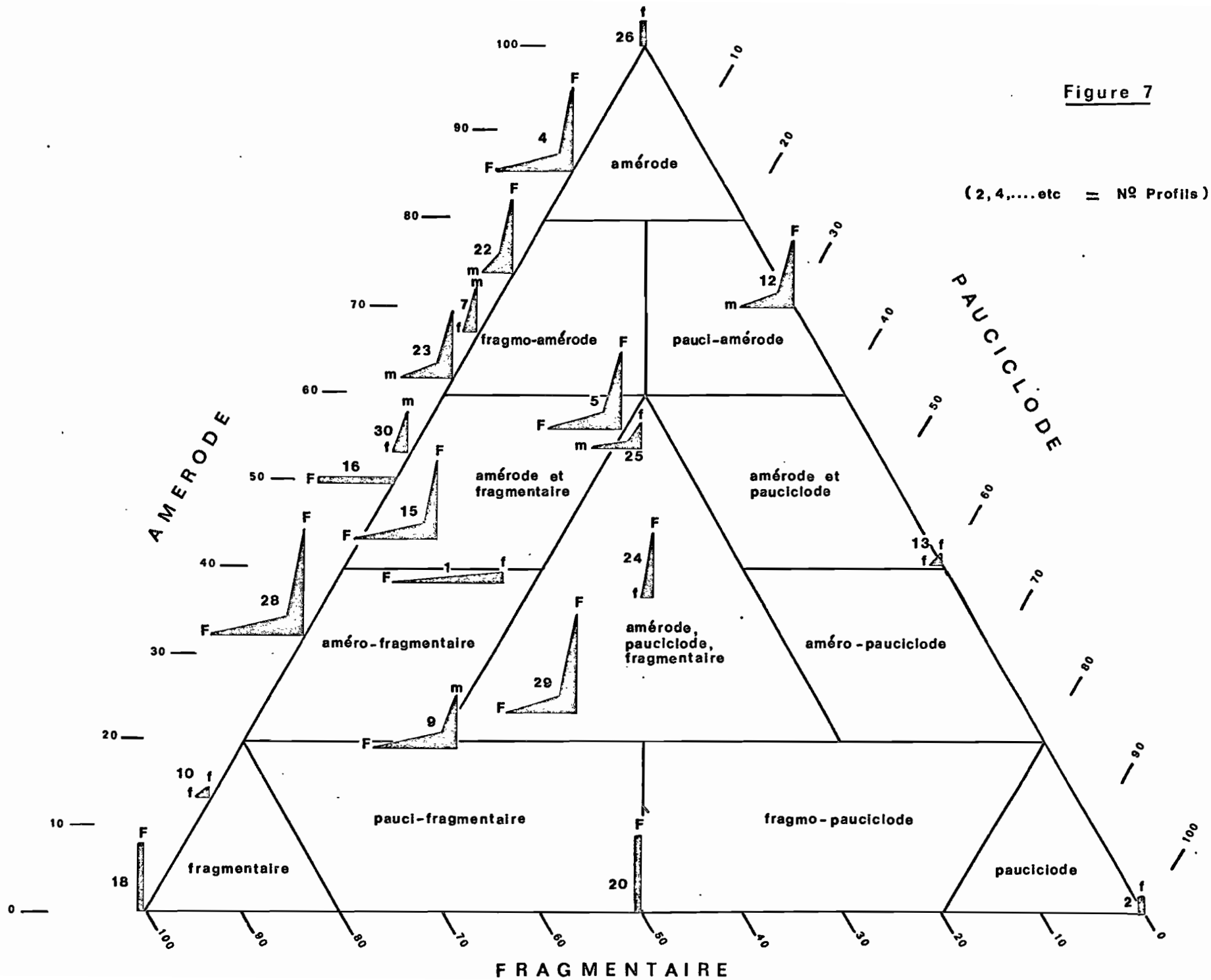
- $\Delta da < 0,10$ différenciation faible f
- $0,10 < \Delta da < 0,25$ différenciation moyenne m
- $\Delta da > 0,25$ différenciation forte F

On peut également utiliser les termes synthétiques suivants :

Tableau 4 - Appréciation synthétique des différenciations

Différenciation	latérale faible	latérale moyenne	latérale forte
verticale faible	faiblement différencié	à différenciation latérale	à différenciation latérale forte
verticale moyenne	à différenciation verticale	différencié	à différenciation latérale forte et verticale
verticale forte	à différenciation verticale forte	à différenciation verticale forte et latérale	fortement différencié

Figure 7



Chaque arumite est alors défini, sur le triangle de structures :

- par son type structural qui peut s'exprimer soit de manière précise par des pourcentages chiffrés, soit de manière plus synthétique grâce aux onze classes structurales que nous proposons (*Figure 7*)
- par son mode de différenciation.

C'est ainsi que l'on pourra définir l'arumite n°30 comme "amérode et fragmentaire (amérode 53%, fragmentaire 47%, pauciclode 0%) à différenciation verticale".

Si l'on veut expliciter la répartition spatiale des volumes structuraux et leur contenu on pourra utiliser la typologie proposée par Beaudou et de Blic (1978).

Que nous montre ce diagramme triangulaire?

- 12 arumites sur 21 sont caractérisés par une extension importante des structures améroides (plus de 40%). Sur ces 12 arumites 3 seulement montrent un développement des structures pauciclodes supérieur à 20%. Le binôme amérode-fragmentaire est donc nettement prédominant ce qui entraîne des différenciations généralement importantes.
- Cela se confirme par le fait que 3 arumites seulement sur 21 dépassent le cap des 40% en ce qui concerne les structures pauciclodes.
- 11 arumites sur 21 montrent une différenciation verticale forte que l'on peut presque toujours rattacher soit à un labour insuffisamment profond, soit à un compactage généralisé de la partie inférieure de l'arumite au cours d'un pulvérisage effectué dans de mauvaises conditions d'humidité.
- 8 arumites seulement sur 21 montrent une différenciation latérale forte généralement imputable à des tassements sous les roues de tracteur. Il faut souligner cependant qu'une différenciation latérale faible ou moyenne ne traduit pas forcément un état physique satisfaisant puisque, sur les 13 cas observés, 5 correspondent à des arumites tassés comportant plus de 60% de volumes améroides.

Si l'on prend en compte la nature de la sole cultivée on constate que la quasi-totalité des soles à *Stylosanthes* de deux ans (soit 5/6) se situent dans le groupe des douze arumites à pôle amérode. Par contre on y rencontre une seule sole de *Stylosanthes* de un an sur les quatre qui ont été examinées.

Les soles de coton ne laissent apparaître aucune tendance particulière.

Sous riz on note toujours une différenciation latérale forte. Les structures sont en général "amérodés et fragmentaires".

Sous *Stylosanthes* de un an la différenciation verticale est toujours forte.

Tout cela est résumé dans le *tableau 5* où l'on a indiqué en outre les densités apparentes moyennes des arumites. Ces densités sont généralement plus élevées sous *Stylosanthes 2* comme le montrent les valeurs médianes suivantes :

<i>Stylosanthes</i> deux ans	1,39
Riz, coton, <i>Stylosanthes</i> un an	1,32

13. Mesures d'infiltration

Nous avons cherché à estimer quelle pouvait être l'influence des caractères structuraux sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans les appumites et arumites.

Le paramètre recherché étant d'ordre, non pas hydrodynamique, mais structural les mesures ont pu être simplifiées et miniaturisées ce qui a permis de les multiplier tant en surface qu'au sein des profils. En pratique on dispose sur la surface étudiée des cylindres en tôle de 10 cm de diamètre puis, après les avoir enfoncés de 2 cm et remplis d'eau, on note le temps d'infiltration d'une lame d'eau de 10 cm.

Le *tableau 6* présente les résultats de mesures effectuées à Abouakro. Chaque valeur est la médiane de 15 mesures faites à la surface du sol autour des profils.

On notera l'effet dépressif de la mise en culture et surtout la dégradation extrêmement importante de la structure sous l'effet du surpâturage (profil CM-30).

Quant aux mesures d'infiltration effectuées à l'intérieur des profils, elles s'avèrent en très bon accord avec les valeurs de densité apparente .

Tableau 5 - Structure et différenciation des arumites

Arumite	Roche	Culture	da	Structure	Différenciation
CM- 2	Granite	<i>Stylo 2</i>	1,37	pauciclode	faiblement différencié
CM- 4	"	"	1,39	amérode	fortement différencié
CM-12	"	"	1,42	pauci-amérode	verticale forte et latérale
CM-13	"	"	1,29	amérode et pauciclode	faiblement différencié
CM-26	"	"	1,48	amérode	faiblement différencié
CM-30	"	"	1,39	amérode et fragmentaire	verticale
CM- 7	Granite	<i>Stylo 1</i>	1,34	fragmo-amérode	verticale
CM-18	Schistes	"	1,15	fragmentaire	verticale forte
CM-28	Granite	"	1,30	améro-fragmentaire	fortement différencié
CM-29	"	"	1,32	amér., pauci., fragm.	fortement différencié
CM- 9	Schistes	Coton	1,24	pauci-fragmentaire	latérale forte et verticale
CM-10	"	"	1,41	fragmentaire	faiblement différencié
CM-22	"	"	1,25	fragmo-amérode	verticale forte et latérale
CM-23	Granite	"	1,33	fragmo-amérode	verticale forte et latérale
CM-24	"	"	1,36	amér., pauci., fragm.	verticale forte
CM-25	"	"	1,43	amér., pauci., fragm.	latérale
CM-1	"	Riz	1,44	améro-fragmentaire	latérale forte
CM-5	"	"	1,32	amérode et fragment.	fortement différencié
CM-15	"	"	1,28	amérode et fragment.	fortement différencié
CM-16	Schistes	"	1,38	amérode et fragment.	latérale forte
CM-20	"	"	1,25	fragmentaire - pauciclode	verticale forte

Tableau 6 - Temps d'infiltration d'une lame d'eau de 10 cm, valeurs médianes.

Profil	Végétation	Temps d'infiltration en minutes
CM-8	Jachère forestière	0,7
CM-6	Savane	2,1
CM-5	Riz après coton	8,0
CM-29-28	<i>Stylosanthes</i> 8 mois	7,1
CM-7	<i>Stylosanthes</i> 3 ans pâturé	11,6
CM-30	<i>Stylosanthes</i> 3 ans surpâturé	27,3

Quelles conclusions peut-on tirer de ces observations ?

- Il existe, dans la plupart de sols cultivés que nous avons observés, une forte tendance au tassement sous l'effet des engins agricoles : tassements localisés (roues de tracteur) ou généralisés (pulvérisage). Ces tassements peuvent être dûs également au piétinement du bétail (profils 26 et 30 en annexe).
- Les arumites présentent souvent des différenciations fortes tant dans le sens latéral que vertical. Ils apparaissent donc essentiellement comme hétérogènes.
- Cette hétérogénéité, cette aptitude au tassement, apparaissent bien comme des contraintes majeures affectant directement les systèmes racinaires des plantes cultivées. Il paraît donc urgent de se donner les moyens d'information nécessaires pour choisir les techniques culturales les mieux adaptées à chaque cas particulier.

2 - Caractères analytiques généraux

Nous allons donner, à titre indicatif, les valeurs médianes des principaux paramètres.

Tableau 7 - Principales valeurs médianes.

Paramètre	Appumite sup.	Appumite inf.	Arumite
A + Lf %	25	27	27
C ‰	14	10,5	11
N ‰	1,1	0,8	0,8
Te me	7,5	7,0	7,5
S me	6,5	4,5	4,5
S/T %	75	60	70
Is	0,5	0,9	1,6
Perméabilité cm/h	27	13	5

Le mise en culture ne change guère la texture ni les caractères organo-chimiques. Les valeurs relevées dans les arumites sont du même ordre de grandeur que celles que l'on observe dans les appumites inférieurs.

Les caractéristiques structurales - Is et coefficient de perméabilité - sont par contre très fortement péjorées, nous y reviendrons.

3 - Capacité de rétention, réserves en eau

La capacité de rétention est une caractéristique hydrique intéressante à connaître à un double titre :

- pour l'alimentation en eau des plantes cultivées puisque c'est l'eau qui reste disponible dans le sol après vidage rapide des plus gros pores,
- pour le travail du sol puisqu'elle correspond à l'état du sol ressuyé, état qui est atteint, pour les sols issus de granite de la région Centre, 36 à 48 heures après une forte pluie. Ce stade ressuyé est généralement considéré comme le plus favorable au travail du sol. Nous verrons que ce n'est pas forcément le cas ici.

Nous avons déterminé la capacité de rétention de chacun des matériaux par une méthode de laboratoire (Feodoroff et Bétrémieux, 1964). Cette méthode consiste à étudier la dynamique de la redistribution de l'eau d'un petit échantillon initialement saturé et mis au contact du même sol sec. L'opération est pratiquée sur terre fine. Nous avons vérifié, pour quelques matériaux, que les valeurs ainsi obtenues étaient comparables aux capacités au champ déterminées in situ après arrosage.

Pour les matériaux étudiés, c'est-à-dire les appumites et arumites de la région de Béoumi formés tant sur schistes que sur granites, on peut estimer de manière très satisfaisante la capacité de rétention à partir de la teneur en eau à pF 3,0, caractéristique facile à mesurer. Nous avons en effet établi, à partir de 28 matériaux, les droites de régression suivantes :

- pour pF 3,0 < 14% $CR = 0,85 (\text{humidité pF } 3,0) + 6,4$,
 $r = 0,82$
- pour pF 3,0 > 14% $CR = 0,53 (\text{humidité pF } 3,0) + 8,6$,
 $r = 0,88$

L'eau théoriquement utilisable par les plantes se situe dans la gamme des humidités comprises entre la capacité de rétention et le pF 4,2. Pour un arumite de deux décimètres d'épaisseur et de densité apparente d_a les réserves exprimées en mm d'eau se déduisent de la formule suivante :

$$\text{réserves en mm} = 2 \times d_a \times (CR - \text{pF } 4,2)$$

Afin d'obtenir des données comparables nous avons retenu une valeur de densité apparente identique pour tous les arumites et égale à la valeur médiane observée, soit 1,35. Les réserves en eau théoriques sont alors les suivantes :

- arumites sur granites 7,5 à 26 mm, médiane = 17 mm
- arumites sur schistes 15,5 à 30 mm, médiane = 22 mm

Ce ne sont pas des valeurs très élevées et il faut souligner en outre que, notamment dans les arumites à pôles amérode, les racines ne peuvent exploiter efficacement qu'une partie du volume total. Les différenciations latérales et verticales peuvent donc souvent constituer une contrainte majeure vis-à-vis de l'alimentation hydrique des cultures.

On peut remarquer que l'humidité à pF 3,0 est étroitement corrélée avec la richesse en éléments fins et avec les teneurs en matières organiques ainsi que le montre le tableau suivant :

Tableau 8 - Coefficients de corrélation

	granites n = 18	schistes n' = 6
pF 3,0 - A + Lf	0,90	0,94
pF 3,0 - C	0,85	0,98
A + Lf - C	0,80	0,93

Les régressions multiples sont les suivantes :

Granites pF 3,0 = 0,36 (A+Lf) + 0,50 (C) - 3,75 avec $R^2 = 0,856$

Schistes pF 3,0 = 0,11 (A+Lf) + 1,56 (C) - 3,20 avec $R^2 = 0,974$

4 - Limites d'Atterberg

Rappelons que la limite de liquidité LL est l'humidité caractéristique séparant le domaine liquide où le sol n'a qu'une cohésion très faible et s'écoule en boue du domaine plastique où le sol est susceptible de se déformer sans se rompre.

La limite de plasticité LP limite le domaine plastique et le domaine cohérent où le sol n'est pas déformable et se rompt sous l'effet d'une contrainte mécanique.

L'indice de plasticité $I_p = LL - LP$ représente l'étendue du domaine plastique.

La marge de liquidité ML représente la différence entre la limite de liquidité et la capacité de rétention. Elle permet d'évaluer les risques de gâchage du sol lorsqu'il est travaillé à des humidités voisines de la capacité de rétention.

41. Relations avec pF 3,0

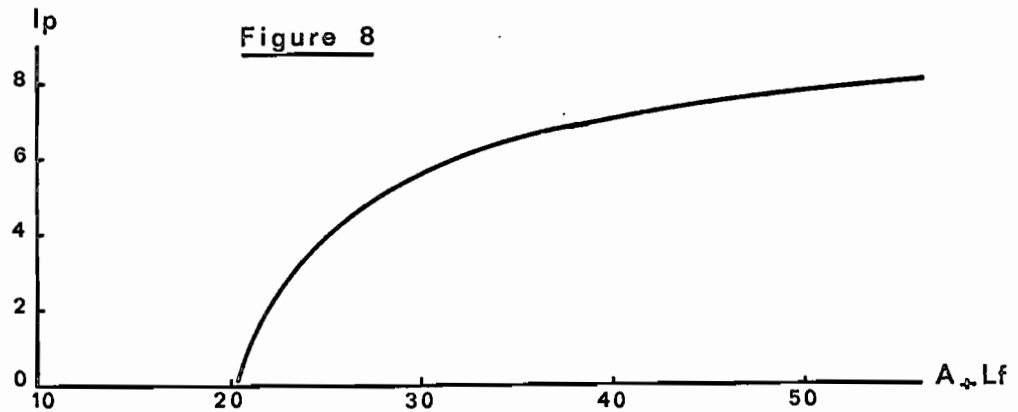
Les limites LL et LP peuvent être déduites avec une bonne approximation des teneurs en eau à pF 3,0. La relation est très étroite pour les matériaux issus de granite, plus lâche pour les

matériaux issus de schistes.

Granites : LL = 1,23 (Humidité pF 3,0) + 6,6 avec $r = 0,96$
 LP = 1,12 (Humidité pF 3,0) + 3,3 avec $r = 0,92$
 Schistes : LL = 0,81 (humidité pF 3,0) + 12,2 avec $r = 0,80$
 LP = 0,70 (Humidité pF 3,0) + 9,1 avec $r = 0,81$

42. Indice de plasticité

La courbe suivante, tracée approximativement à partir d'un nuage de points, montre que les sols de la région peuvent être considérés comme peu à modérément plastiques.

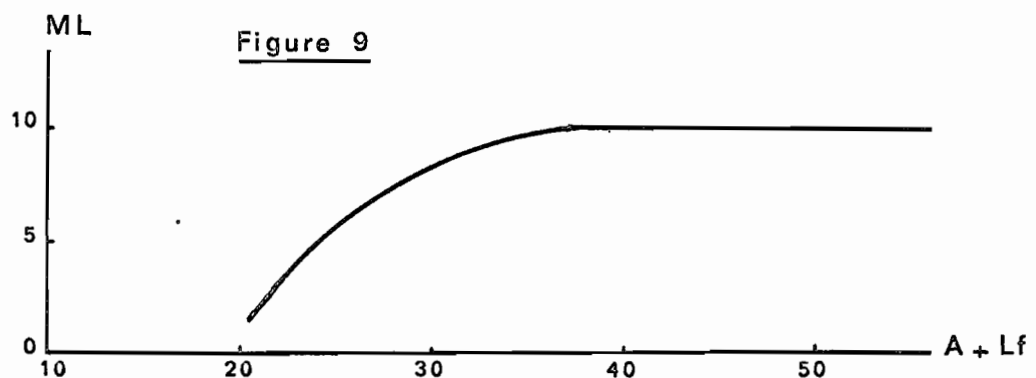


Lorsque A+Lf est inférieur à 20% (pF 3,0 inférieur à 8) les matériaux sont non plastiques.

Ip augmente ensuite avec la richesse en éléments fins mais reste inférieur à 10.

43. Marge de liquidité

Pour A+Lf = 20% la marge de liquidité est très faible, de l'ordre de deux points d'humidité. Elle augmente jusqu'à A+Lf = 35% et reste ensuite à peu près constante, de l'ordre de 9 à 12%.



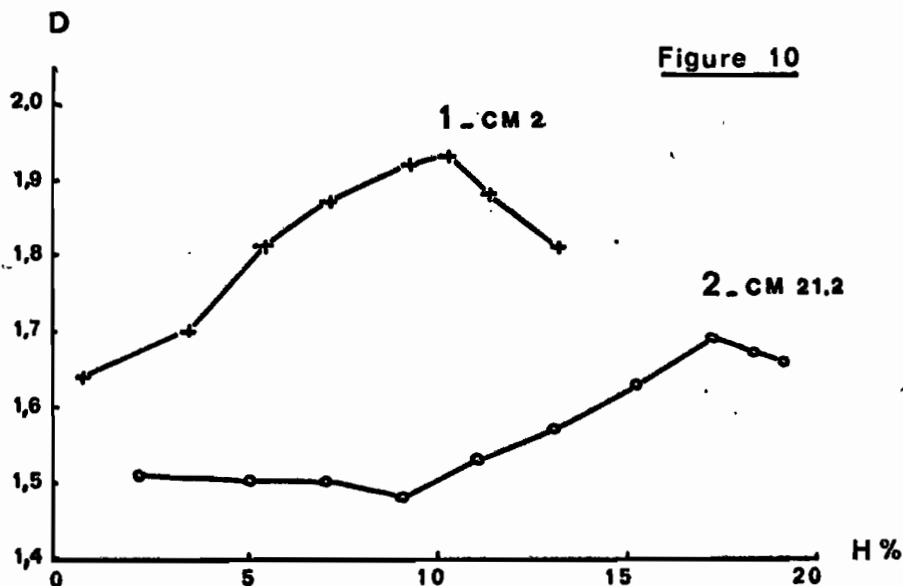
5 - Aptitude des sols au compactage

Les matériaux étudiés sont, nous venons de le voir, peu plastiques et donc peu déformables. Ils réagissent donc aux pressions exercées en se réorganisant suivant un arrangement plus dense. Pour un matériau donné et une pression donnée la densité finale est fonction de la teneur en eau. Nous allons essayer de définir, pour chaque matériau, la loi de variation densité apparente-humidité au moyen d'une courbe de compactage Proctor.

51. Méthode

Les compactages ont été effectués dans un moule cylindrique de 300 cc comportant une hausse provisoire. La terre tamisée à 2 mm et amenée à l'humidité désirée est versée dans ce moule en trois fois. Chaque couche est compactée au moyen d'un mouton de 1,2 kg tombant d'une hauteur de 20 cm, à raison de 25 coups par couche. L'énergie de compactage (58 kgm/dm^3) est identique à celle qui est développée dans l'essai Proctor standard. La hausse provisoire est démontée après compactage et le matériau arasé au niveau supérieur du moule. On détermine alors la teneur en eau et la densité sèche du matériau. En répétant cette opération à des teneurs en eau croissantes on peut construire la courbe de variation de la densité apparente en fonction de l'humidité.

Cette courbe est convexe vers le haut. Son sommet correspond à la densité sèche maximum DM. L'humidité correspondante H_p est "l'optimum Proctor".



Les courbes de la *figure 10* montrent deux types de comportements très différents.

La courbe 1 caractérise un matériau sableux ($A+L_f = 15$) issu de granite :

- La branche montante correspond au sol non saturé. L'eau agit comme lubrifiant et favorise un réarrangement de plus en plus dense du squelette minéral.
- le sommet correspond théoriquement à la quantité d'eau juste suffisante pour remplir les vides.
- Dans la branche descendante il y a excès d'eau, le matériau n'est plus compactable et acquiert un comportement de liquide. La densité sèche décroît donc quand la quantité d'eau en excès augmente.

La courbe 2 correspond à un matériau issu de schistes beaucoup plus riche en éléments fins ($A+L_f = 42,5$). On notera tout d'abord que le sommet de la courbe est nettement décalé vers une densité maximum moins forte et une humidité optimum plus élevée. La courbe accuse en outre un palier marqué dans les faibles humidités. Le matériau se comporte donc comme un sol sec jusqu'à un seuil hydrique à partir duquel la pâte argileuse devient lubrifiante. Nous verrons que le palier est d'autant plus important que la teneur en argile est grande.

Les courbes de compactage fournissent un certain nombre de paramètres susceptibles d'expliquer le comportement particulier de chaque matériau suivant ses caractères intrinsèques. Nous avons retenu, en première approche, les paramètres suivants :

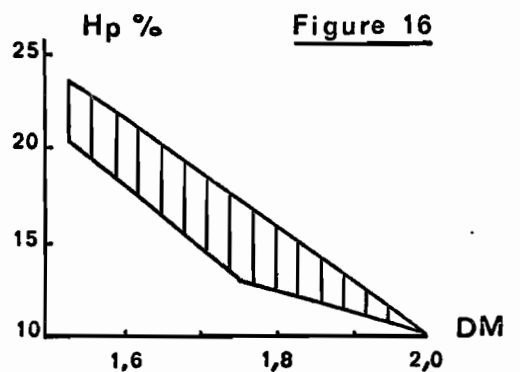
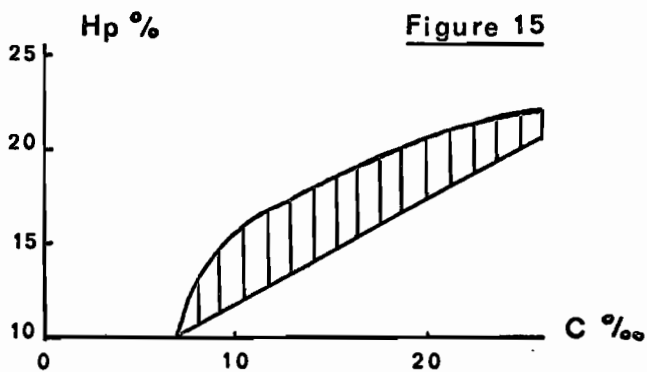
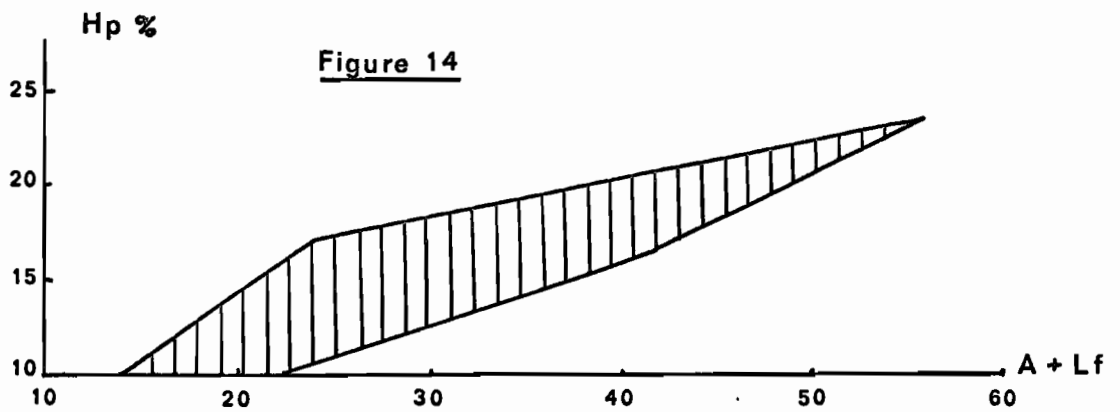
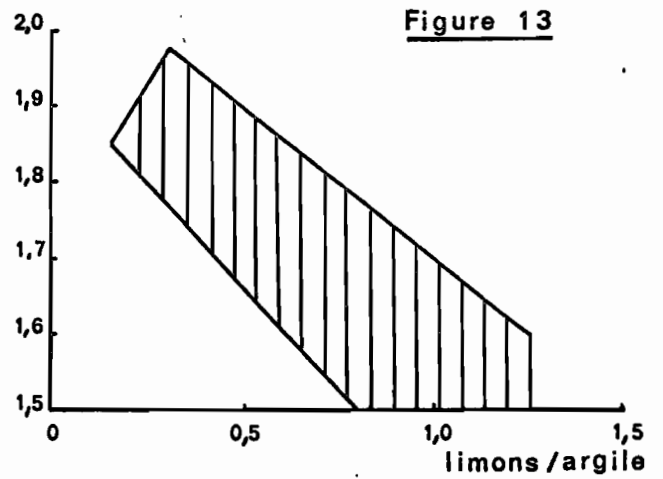
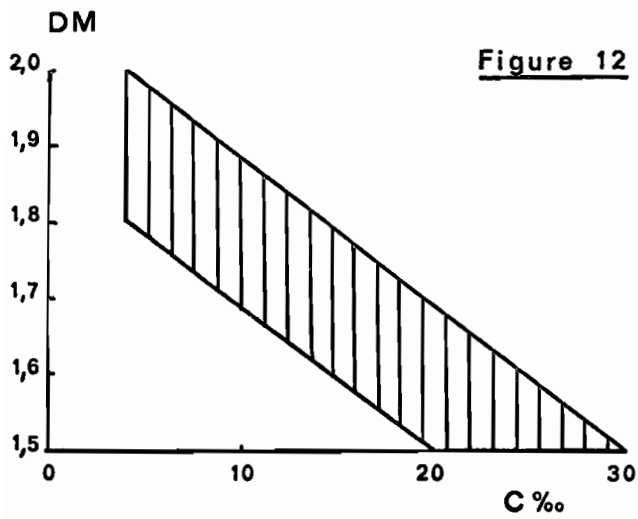
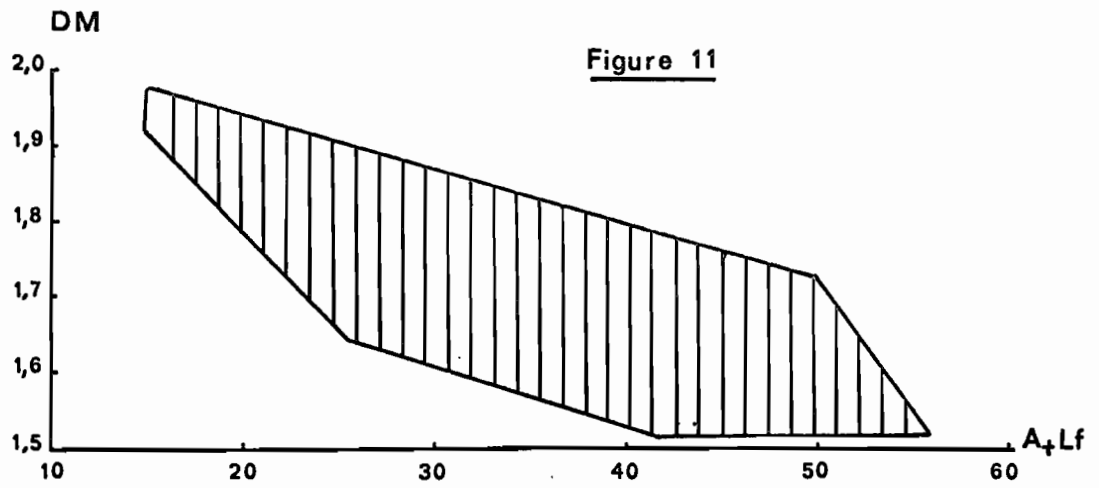
- la densité maximum DM,
- l'humidité optimum H_p ,
- le seuil hydrique ou palier de compactage,
- la pente de la branche ascendante,
- la marge de tassement, c'est à dire la différence entre la capacité de rétention et l'optimum Proctor.

52. Densité maximum DM

Pour une même énergie de compactage la densité maximum varie entre 1,50 et 2,00 suivant la texture et la richesse en matière organique des matériaux :

- DM diminue au fur et à mesure que les teneurs en carbone total augmentent. La liaison est linéaire et assez étroite (*Figure 12*). DM décroît de 1,90 environ pour $C = 0,5\%$ à 1,50 pour $C = 2,5\%$.
- L'augmentation de la richesse en éléments fins (A+Lf) réduit également la densité maximum mais la liaison est beaucoup moins étroite que dans le cas du carbone (*Figure 11*).
- L'augmentation relative des taux de limons totaux par rapport à l'argile tend à abaisser la densité maximum. Nous avons vérifié qu'il n'y avait pas de corrélation parasite entre le rapport limons/argile et les taux d'argile. Les densités les plus faibles s'observent pour des teneurs en limons totaux égales ou supérieures aux taux d'argile (*Figure 13*).
- DM augmente en même temps que les teneurs en sables grossiers. La liaison est très lâche, deux nuages de points se différencient suivant que les matériaux sont issus de schistes ou de granite.
- On observe également une liaison très lâche avec le rapport sables fins/argile. DM tend à être maximum pour un rapport Sf/argile voisin de 1,5, valeur qui correspond probablement aux possibilités d'entassement maximum du mélange binaire sable-argile.
- Le taux de compaction DM/Dm est le rapport entre les densités maximum et minimum relevées sur la courbe de compactage. Il varie de 1,14 à 1,21 sur granites avec une médiane de 1,17
de 1,08 à 1,14 sur schistes avec une médiane de 1,12.

Nous n'avons pas noté de relations nettes avec C ni A+Lf.



53. Humidité optimum Hp

L'augmentation de la richesse en éléments fins et des taux de matières organiques décalent Hp vers des humidités plus élevées. On pouvait d'ailleurs s'y attendre en raison de la liaison négative étroite qui lie DM et Hp (*Figure 16*).

La liaison avec A+Lf est bien meilleure que pour la densité maximum et l'on ne note pas ici d'action prépondérante du carbone (*Figures 14 et 15*).

Tout comme la capacité de rétention l'optimum Proctor peut être estimé à partir de l'humidité à pF 3,0 au moyen des relations suivantes :

$$\text{pour pF } 3,0 < 14\% \quad \text{Hp} = 0,76 (\text{Humidité pF } 3,0) + 5,6 \text{ avec } r = 0,92$$

$$\text{pour pF } 3,0 > 14\% \quad \text{Hp} = 0,40 (\text{Humidité pF } 3,0) + 8,8 \text{ avec } r = 0,87$$

54. Seuil hydrique

Le seuil hydrique, lorsqu'il est bien reconnaissable, est fonction étroite de la richesse en argile du matériau.

Pour 21 matériaux présentant un palier bien marqué nous avons trouvé une relation de la forme :

$$\text{Seuil hydrique en \% d'humidité} = 0,41 (\text{Argile}) - 2,2 \quad r = 0,93$$

L'action de la matière organique vient nuancer celle de l'argile. Si l'on considère le rapport C/A+Lf on constate en effet que :

$$\text{pour 21 matériaux à palier marqué.. C/A+Lf médian} = 0,37$$

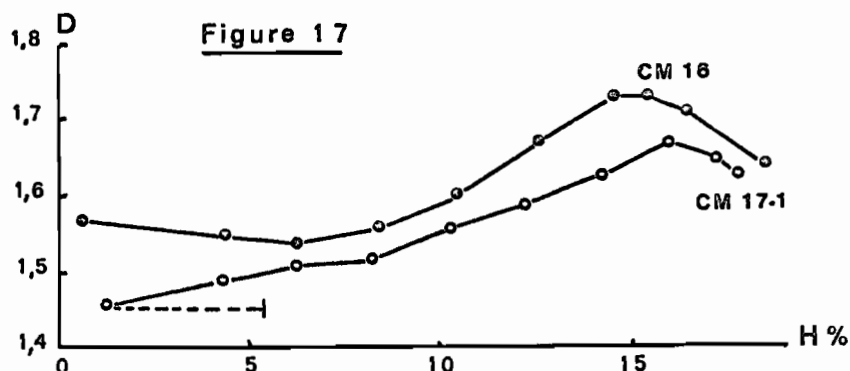
$$\text{pour 13 matériaux sans palier C/A+Lf médian} = 0,46$$

Le test de Mann-Whitney montre que ces deux populations sont significativement différentes à la probabilité 0,002.

Cet effet de la matière organique apparaît nettement si l'on examine les deux courbes de la *figure 17*.

Il s'agit de deux matériaux issus de schistes, un appumite supérieur (17-1) et un arumite (16-1). Ces deux matériaux diffèrent surtout pour leurs rapports C/A+Lf :

	<u>C%</u>	<u>A+Lf%</u>	<u>C/A+Lf</u>
CM-16-1	11,5	26,9	0,42
CM-17-1	13,6	25,4	0,54



Le matériau CM 16-1 présente un seuil hydrique très net à 6,2% d'humidité.

Le matériau CM 17-1 devrait montrer, de par sa teneur en argile, un seuil hydrique à 5,3% d'humidité (segment en tireté). Or on constate que la courbe est constamment croissante. La matière organique peut donc suppléer l'argile dans son rôle de lubrifiant aux faibles humidités.

Il est à remarquer cependant que tous les matériaux riches en éléments fins (A+Lf supérieur à 40%) présentent des paliers bien caractérisés quelle que soit leur teneur en carbone (C/A+Lf pouvant alors atteindre des valeurs supérieures à 0,8).

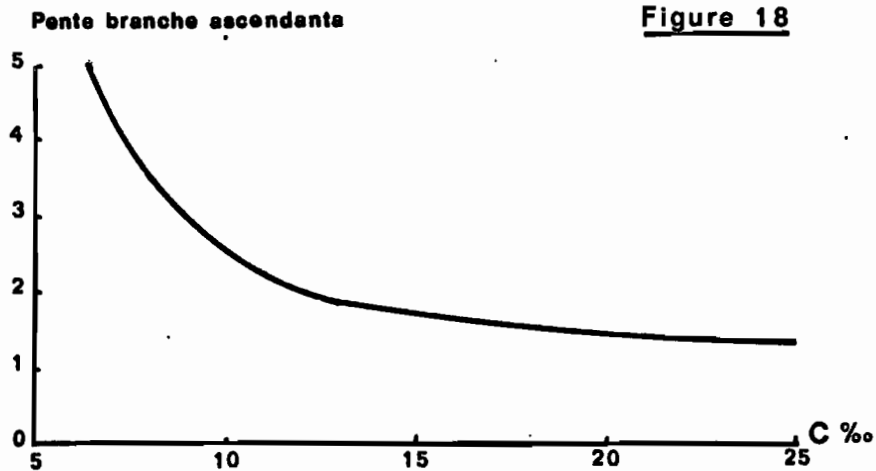
55. Pente des courbes

Chaque courbe peut être caractérisée par sa pente générale entre le point origine (terre séchée à l'air) et le sommet. Ce paramètre permet d'évaluer grossièrement la variation de la densité apparente en fonction de l'humidité. Cette pente générale tend à diminuer quand la richesse en éléments fins et en matière organique augmente, elle permet de différencier les matériaux issus de schistes de ceux qui sont formés sur granite.

Plus intéressante à considérer est la pente de la branche ascendante entre le seuil hydrique et le sommet de la courbe. Lorsqu'il n'y a pas de palier ni d'inflexion marquée elle se confond avec la pente générale. Si D_s et H_s sont les coordonnées du

seuil hydrique cette pente est égale à $100 \times (DM - Ds)/(Hp - Hs)$.

La figure 18 nous montre que le carbone, jusqu'à des teneurs de 13-15% tend à aplatir la branche ascendante. Au delà de ces teneurs la pente de la branche ascendante ne varie plus que très peu avec le carbone et reste voisine de 1,5.



56. Marge de tassement

Ce paramètre va nous renseigner sur les risque de tassement que présente un sol lorsqu'il est travaillé en conditions ressuyées. La marge de tassement est toujours faible puisqu'elle varie entre 0 et 5,7 points d'humidité avec une valeur médiane de 1,4. Cette médiane témoigne d'une distribution très dissymétrique.

En effet 10 mesures sur 31 sont comprises entre 0 et 1 point d'humidité

17 mesures sur 31 sont comprises entre 0 et 2 points d'humidité

25 mesures sur 31 sont comprises entre 0 et 3 points d'humidité.

80% des matériaux étudiés ont donc une marge de tassement inférieure à trois points d'humidité.

La capacité de rétention se situe généralement légèrement au delà de l'optimum Proctor sur la branche descendante de la courbe. La relation qui lie H_p à CR est linéaire, de la forme :

$$H_p = 0,70 (CR) + 3,1 \text{ avec } r = 0,90$$

57. Estimation globale de l'aptitude au compactage

Nous venons de voir que les risques de tassement sont toujours élevés quand on travaille les sols en conditions ressuyées. Cela peut n'être pas très dangereux lorsque les matériaux ne sont pas trop compactables. Nous limitant ici aux arumites nous allons essayer d'obtenir une estimation globale de leur aptitude au compactage.

Trois paramètres paraissent aptes à fournir cette estimation :

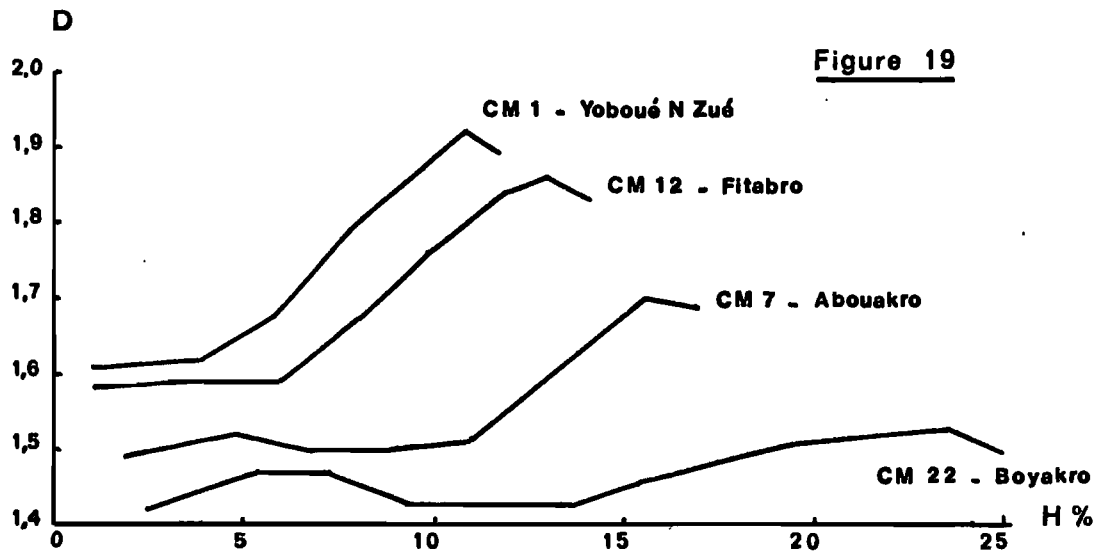
- la densité maximum DM,
- la valeur du seuil hydrique rapportée à l'humidité optimum, en effet plus le palier est long plus la zone de sensibilité au tassement est réduite,
- la pente de la branche ascendante qui vient préciser les deux paramètres précédents.

La gamme de variation de chaque paramètre a été divisée en cinq classes. Une note est attribuée à chaque classe par ordre de risques croissants.

Note	1	2	3	4	5
DM	1,50-1,59	1,60-1,69	1,70-1,79	1,80-1,89	>1,89
pente ascend.	<2,0	2,0-2,4	2,5-2,9	3,0-3,4	>3,4
seuil/Hp	>0,6	0,50-0,59	0,40-0,49	0,30-0,39	<0,30

La note globale d'un matériau s'obtient alors en additionnant les trois notes partielles qu'il a obtenues pour chacun des trois paramètres. Les notes les plus fortes correspondent aux aptitudes au compactage les plus élevées.

La *figure 19* présente 4 courbes relatives à des arumites bien représentatifs de 4 terroirs villageois : Yoboué N'Zué (CM 1), Fitabro (CM 12), Abouakro (CM 7), sur granites et Boyakro (CM 22) sur schistes.



Le tableau suivant indique les valeurs des paramètres et, entre parenthèses, les notes correspondantes :

arumite	A+Lf	C%	DM	pente	seuil/Hp	Note
CM 1	23,5	7,6	1,92 (5)	4,3 (5)	0,35 (4)	14
CM 12	24,2	9,7	1,86 (4)	3,8 (5)	0,46 (3)	12
CM 7	36,9	13,6	1,70 (3)	4,1 (5)	0,70 (1)	9
CM 22	56,1	19,2	1,53 (2)	1,0 (1)	0,57 (1)	4

Cette méthode de notation permet de bien différencier les terroirs villageois :

<u>terroir</u>	<u>notes globales</u>	<u>note moyenne</u>
Yoboué N'Zué	10 à 14	12,5
Fitabro	9 à 12	10,5
Abouakro	8 à 10	9
Boyakro	3 à 8	6,5

Les sols de Yoboué N'Zué et de Fitabro apparaissent donc comme les plus sensibles à la compaction. Cette gamme de notation semble bien correspondre avec les observations de terrain.

6 - Résistance à la pénétration

Les données que nous avons recueillies jusqu'à présent permettent de caractériser de façon satisfaisante le comportement mécanique des appumites et arumites aux humidités moyennes et fortes, en gros depuis la limite de liquidité jusqu'au stade ressuyé. Dans la recherche des conditions optimum de travail du sol il est tout aussi important de caractériser le comportement des matériaux aux faibles humidités, c'est à dire dans le "domaine cohérent". Pour qualifier ce comportement on parle généralement de cohésion ou cohérence, ténacité, dureté, fragilité, ...etc.

Nous allons tenter, dans une certaine mesure, de quantifier ces appréciations. La cohésion peut être estimée, de façon assez satisfaisante, par la résistance à la pénétration. Nous avons étudié ses variations en fonction de l'humidité.

61. Méthode

Des cylindres de 150 cc environ sont garnis de terre séchée à l'air et tamisée à deux mm, de manière à obtenir une densité apparente de 1,40. Chaque cylindre est alors soumis à deux cycles humectation totale-dessèchement. On l'amène ensuite à l'humidité désirée et il est abandonné 15 jours à l'abri de l'évaporation.

On effectue alors quatre mesures de résistance à la pénétration : enfoncement d'une aiguille de deux mm de diamètre jusqu'à 5 cm de profondeur. On retient la valeur moyenne de la résistance exprimée en Kg/cm² et on détermine la teneur en eau exacte de l'échantillon.

Une dizaine de cylindres portés à des humidités croissantes permettent de construire la courbe Résistance à la pénétration - Humidité d'un matériau depuis le sol sec jusqu'à la capacité de rétention.

62. Les résultats

La *figure 22* montre quelques courbes résistance-humidité relatives à des matériaux issus de schistes (traits pleins) et de granites (traits en tireté). Nous voyons que :

- La cohésion est toujours faible aux humidités supérieures à la capacité de rétention.

Figure 20

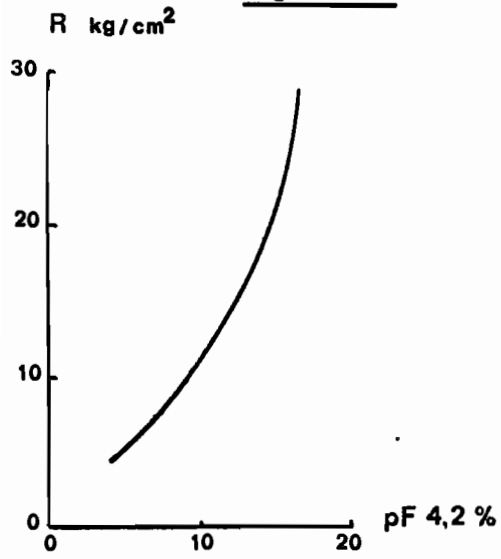


Figure 21

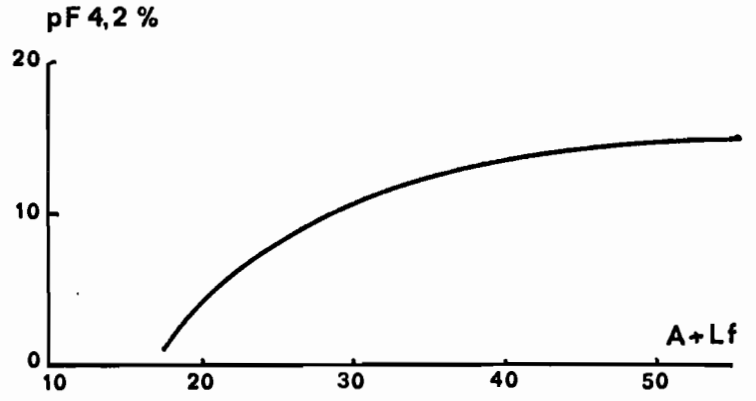
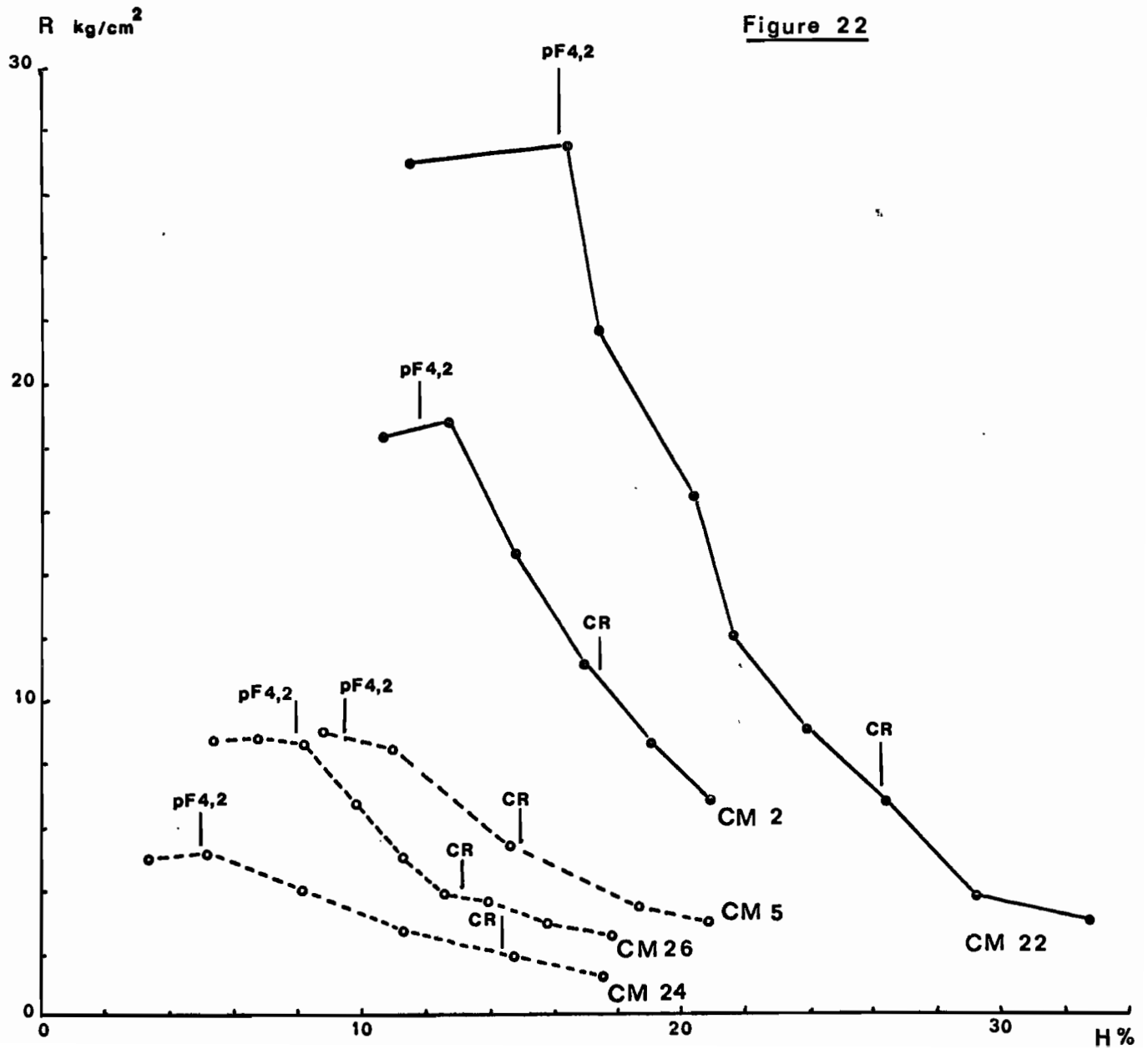


Figure 22



- Elle augmente lorsque le sol se dessèche jusqu'à une humidité voisine de pF 4,2. Cette croissance est rapide dans le cas des matériaux issus de schistes et la résistance à la pénétration atteint des valeurs finales élevées. Elle est beaucoup plus lente sur granites et les valeurs finales restent peu élevées.
- Aux humidités inférieures à pF 4,2 la résistance à la pénétration reste à peu près constante ou tend à diminuer. Le matériau a alors tendance à se fissurer lors de la pénétration, à se rompre.

La résistance à la pénétration à pF 4,2 est donc un bon critère de la cohésion que présente le sol à l'état sec. On note par ailleurs (*Figure 20*) une très bonne corrélation entre la résistance à pF 4,2 et la teneur en eau correspondante. La cohésion augmente très rapidement avec la valeur du point de flétrissement et donc avec la richesse en éléments fins (*Figure 21*):

L'humidité à pF 4,2 peut être, soit mesurée directement, soit déduite de l'humidité à pF 3,0 au moyen des relations suivantes :

Granites -	pF 4,2 =	0,83 (pF 3,0)	r = 0,92
Schistes -	pF 4,2 =	0,44 (pF 3,0) + 2,5	r = 0,90

Concernant les possibilités de travail du sol aux faibles humidités on peut faire tout de suite deux remarques :

- Les matériaux issus de granites pourront être travaillés à l'état sec moyennant l'utilisation d'outils adaptés à ces conditions de travail.
- Les matériaux issus de schistes ne pourront généralement pas être travaillés dans des conditions satisfaisantes à des humidités inférieures à pF 4,2.

7 - Etats d'humidité et travail du sol

71. Présentation des données

Nous disposons maintenant de cinq paramètres à partir desquels il sera théoriquement possible de déterminer les gammes d'humidité utilisables pour les différentes interventions cultura-

Au champ interviennent de multiples facteurs qui font de chaque situation un cas particulier : différenciations latérales et verticales des sols, couverts végétaux plus ou moins denses, pellicules de battance, ... etc. Ces facteurs sont susceptibles de modifier considérablement les conditions d'infiltration, d'humectation et de dessèchement.

72. Etats d'humidité

Il nous semble donc préférable de rattacher les paramètres caractéristiques à des états d'humidité identifiables sur le terrain sans trop d'erreurs. C'est ainsi que l'on peut reconnaître (*figure 23*) :

- Un état très humide (humidité supérieure à LL). C'est ce que l'on observe au cours d'une forte pluie ou juste après la fin de celle-ci. Une grande partie de la porosité est saturée d'eau. Le matériau a tendance à se transformer en boue avec apparition d'eau libre sous l'effet de la moindre pression.
- Un état humide (compris entre LL et CR) correspondant à la période de ressuyage. L'eau libre s'écoule progressivement mais elle est encore visible quand on désagrège un fragment de terre entre les doigts. La terre peut se mouler. Lorsqu'on la lisse avec la lame d'un couteau un peu d'eau libre apparaît donnant un aspect luisant à la surface lissée. Si le matériau est assez argileux il est plastique et se pétrit aisément.
- Un état ressuyé (compris entre CR et Hp) où il n'y a plus d'eau libre. Le matériau s'effrite facilement dans la main, on ne peut plus le lisser avec la lame d'un couteau. La cohésion est encore faible. Le passage du stade très humide au stade ressuyé se fait en 36 à 48 heures sur matériaux sablo-argileux issus de granites, en 48 à 72 heures sur les matériaux plus argileux dérivés de schistes.
- Un état frais (compris entre Hp et PF). Le matériau est friable, il se fragmente facilement en éléments structuraux bien reconnaissables, alors que la structure est en général peu discernable aux humidités plus élevées. La plasticité des sols argileux disparaît.

- Un état sec (humidité inférieure à PF). C'est l'état des sols tel qu'on peut l'observer en saison sèche. Le caractère de friabilité disparaît. En sols issus de granite les fragments cohérents se brisent avec des cassures franches, les agrégats s'écrasent facilement entre les doigts, se réduisant en poudre. En sol schisteux les agrégats sont beaucoup plus cohérents et ne se brisent que difficilement entre les doigts.

Il est bien évident que ces états d'humidité doivent être appréciés non pas seulement en surface (dessèchement rapide, pellicules de battance) mais sur toute l'épaisseur que l'on désire travailler.

Revenons maintenant à la *figure 23* et essayons d'interpréter la gamme d'humidité en supposant que le matériau considéré est peu différencié, à dominante amérode ($d_a = 1,4$) et que les pluies s'infiltreraient facilement sans provoquer de ruissellement notable.

La limite de liquidité, au dessus de laquelle on ne peut travailler le sol sans le gâcher, est théoriquement atteinte pour une pluie non ruisselante de 50 mm. Remarquons en outre qu'il suffit d'une pluie de 30 mm pour que le sol passe de PF à LL.

L'état humide ne représente qu'une gamme d'humidité extrêmement étroite (10 mm). Il est donc pratiquement inutilisable pour les techniques culturales en raison des risques de gâchage et de compactage.

L'état frais reste seul utilisable pour un travail à la charrue à disques mais ne représente qu'un créneau d'intervention très étroit (15 mm d'eau) utilisable quelques jours seulement si le sol n'est pas réhumecté quand il atteint le point de flétrissement. Le maintien du sol à l'état frais pendant un laps de temps suffisamment long exige des pluies de 30 à 40 mm, de faible intensité, survenant tous les trois ou quatre jours. Il faudra attendre au moins deux jours après une pluie de plus de 50 mm, 24 à 36 heures après une pluie de 40 à 50 mm.

Il semble donc préférable d'envisager, chaque fois qu'il n'y a pas de problème d'enfouissement, des labours à l'état sec au moyen d'outils du type chiesel.

Pulvérisage et semis sont les opérations les plus susceptibles de compacter le sol. En tablant sur des densités apparentes comprises entre 1,0 et 1,2 (labour rassis) il faut donc éviter de les effectuer sitôt après une pluie de plus de 25-30 mm. Par contre, une pluie de 10 à 20 mm avant le semis permettra un rappuyage correct du lit de semence.

73. Comportement des matériaux issus de granite

Si le comportement de tous ces matériaux est assez semblable les conditions de travail du sol diffèrent cependant suivant les valeurs d'humidité correspondant aux divers paramètres. La situation de la gamme caractéristique d'un matériau sur l'échelle d'humidité est assez bien déterminée par le pF 3,0 de ce matériau. Nous distinguerons ainsi, suivant leurs pF 3,0, trois populations assez homogènes.

731. Matériaux à pF 3,0 inférieur à 10

Nous trouverons ici tous les matériaux prélevés à Assakra et Yoboué N'Zué.

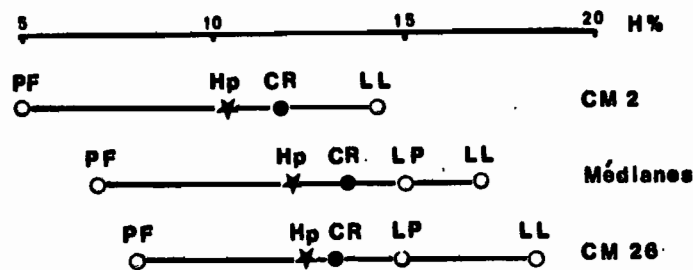
- De texture sablo-argileuse ils sont très pauvres en limons. Leurs principales caractéristiques texturales sont les suivantes (valeurs médianes) :

argile	20%
limons totaux	7,5%
sables grossiers	44%
limons/argile	0,4
sables fins/argile	1,3

- Les teneurs en matière organique sont faibles (C inférieur à 10%).
- LL est toujours inférieur à 20. L'indice de plasticité est compris entre 0 et 4 ce qui correspond à des matériaux non à très peu plastiques.
- L'aptitude au compactage est élevée.
- La cohésion à sec n'est pas un obstacle aux interventions culturales.

La *figure 24* présente deux gammes réellement observées (CM 2 à LL minimum et CM 26 à LL maximum) ainsi que la gamme établie à partir des valeurs médianes des paramètres caractéristiques. Les écarts des matériaux à la gamme médiane sont faibles, celle-ci est donc bien représentative.

Figure 24



Le tableau suivant permet d'exprimer la gamme médiane en millimètres d'eau en fonction de la densité apparente :

da	PF	Hp	CR	LP	LL
1,0	14	24	27	30	34
1,2	17	29	32	36	41
1,4	20	34	38	42	48

Ces matériaux sont caractérisés par l'étroitesse des gammes d'humidité correspondant à l'état frais et à l'état humide. Il suffit théoriquement d'une pluie de 30 mm pour amener les arumites du point de flétrissement à la limite de liquidité. En outre l'optimum Proctor est situé au milieu de l'intervalle PF-LL.

Labour (da = 1,2-1,4) - Les interventions à des humidités supérieures à Hp conduisent à prendre des risques considérables de compactage et de gâchage des sols. Ces risques apparaissent dès l'infiltration de 30 à 35 mm de pluie.

L'utilisation de la charrue à disques peut être envisagée à l'état frais. L'étroitesse de l'intervalle PF-Hp entraîne cependant des risques sérieux de compactage. Les temps d'intervention sont en outre extrêmement courts.

Il est donc bien préférable de travailler ce type de matériau à l'état sec au moyen d'outils adaptés à ces conditions de travail.

Pulvérisage-semis (da = 1,0-1,2) - Ces opérations ne devront être effectuées qu'à l'état frais ou sec, c'est à dire jamais immédiatement après une pluie supérieure à 25-30 mm.

732. Matériaux à pF 3,0 compris entre 10 et 14

Ils sont représentatifs des appumites et arumites de Fitabro et Abouakro.

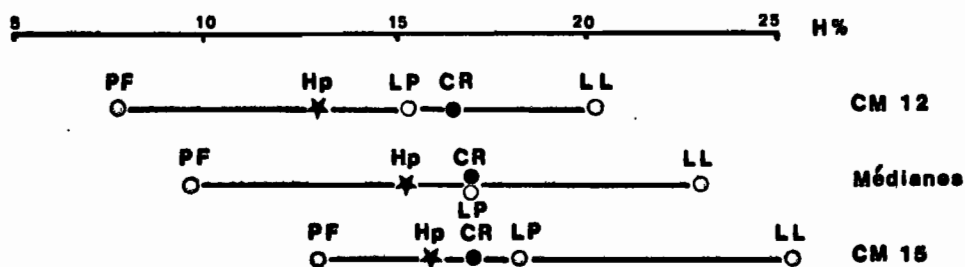
- Ce sont des matériaux sablo-argileux plus riches en limons que les précédents ainsi que le montrent les valeurs médianes suivantes :

argile	23%
limons totaux	13,5%
sables grossiers	50%
limons/argile	0,6
sables fins/argile	1,0

- Ils sont également un peu plus riches en matière organique (C est compris entre 9 et 14%).
- LL se situe dans l'agamme 20-25% d'humidité.
- L'indice de plasticité est de l'ordre de 6.
- L'aptitude au compactage est élevée à Fitabro, un peu plus faible à Abouakro.
- La cohésion à l'état sec est du même ordre de grandeur qu'à Yoboué N'Zué.

La *figure 25* montre deux gammes extrêmes réellement observées encadrant la gamme établie à partir des valeurs médianes.

Figure 25



Les correspondances en mm d'eau de la gamme médiane sont les suivantes :

da	PF	Hp	CR	LP	LL
1,0	19	30	34	34	46
1,2	23	36	41	41	51
1,4	27	42	48	48	64

La capacité de rétention est toujours très proche de la limite de plasticité. L'état humide se confond donc pratiquement avec le domaine plastique.

Si le domaine frais est du même ordre de grandeur que précédemment la gamme correspondant à l'état humide est par contre plus large. La gamme totale PF-LL est, par rapport aux sols de Yoboué N'Zué, légèrement décalée vers des humidités plus élevées. Les conditions de travail aux différents états ne sont donc guère différentes, seules changent les valeurs d'humidité limites. C'est ainsi que l'on peut effectuer pulvérisage et semis après l'infiltration de 30 mm d'eau.

S'il est toujours préférable d'effectuer les labours à l'état sec, on peut cependant envisager une préparation à l'état humide en prenant moins de risques qu'à Yoboué N'Zué. Etant donnés les écarts à la gamme médiane il sera cependant préférable de se fier aux appréciations des états d'humidité sur le terrain plutôt qu'aux indications du pluviomètre.

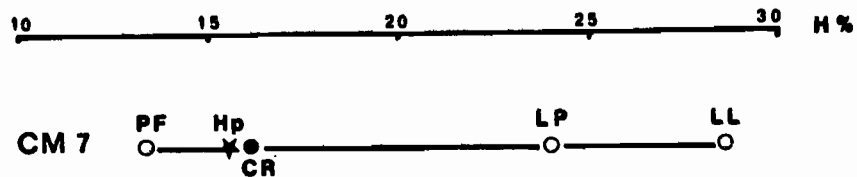
733. Matériaux à pF 3,0 supérieur à 14

Nous n'en avons rencontré qu'un, à Abouakro (CM 7). Sa texture est à la limite sablo-argileux et argilo-sableux :

argile	29%
limons totaux	13%
sables grossiers	42%
limons/argile	0,4
sables fins/argile	0,5

La teneur en carbone est de l'ordre de 14%, l'indice de plasticité voisin de 5.

L'aptitude au compactage est moyenne, la cohésion à sec est peu élevée.



Correspondance en mm d'eau :

da	PF	Hp	CR	LP	LL
1,0	27	31	32	48	57
1,2	32	37	39	58	69
1,4	37	43	45	67	80

Cette gamme est très différente de celles que nous avons vues jusqu'à présent :

- domaine humide très étendu (30 à 35 mm d'eau) avec un intervalle important entre CR et LP (20 mm environ),
- domaines ressuyé et frais extrêmement étroits.

Ce sol pourra donc être travaillé soit à l'état humide, dans une large gamme d'humidités, soit à l'état sec. Il sera préférable d'éviter toute intervention à l'état ressuyé ou frais (risques de tassement, voir le profil CM 7 en annexe qui montre une compaction généralisée due au pulvérisage).

Dans les cas où l'extension de ce type de sol justifierait l'utilisation d'un matériel spécialisé, une charrue à soc serait sans doute beaucoup mieux adaptée qu'une charrue à disques pour les interventions à l'état humide.

74. Comportement des matériaux issus de schistes et roches vertes

741. Matériaux à pF 3,0 compris entre 14 et 20

Nous trouverons là deux types de matériaux dont le comportement est très semblable bien que leurs caractères texturaux n'aient rien de comparable :

- Des matériaux sablo-argileux très riches en sables fins qui caractérisent les appumites de savane herbeuse ainsi que les arumites correspondants, sur les schistes de Boyakro.
- Des matériaux limono-sableux à argilo-limono-sableux prélevés sur les versants-glacis adossés aux collines de roches vertes que l'on trouve à l'est de Bouaké (blocs semi-mécanisés de Bounda).

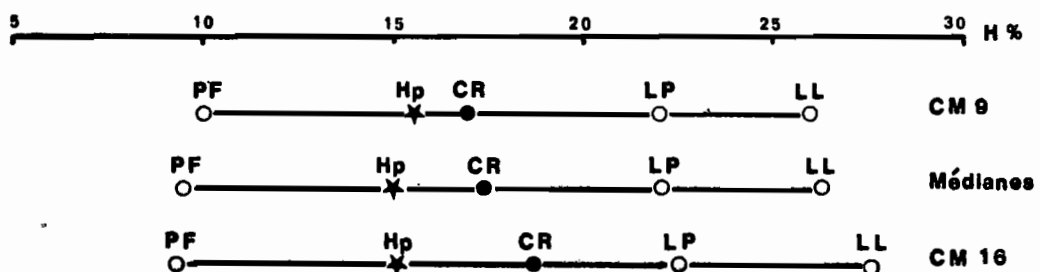
Voici quelques valeurs médianes :

	<u>Bounda</u>	<u>Boyakro</u>
argile	23%	20%
limons totaux	44%	16,5%
sables grossiers	17%	20%
limons/argile	1,9	0,8
sables fins/argile	0,7	2,1
carbone %	13,5	11

L'aptitude au compactage de ces matériaux est moyenne, la cohésion à sec est élevée.

La *figure 26* montre deux gammes observées, l'une à Bounda, l'autre à Boyakro. Elles sont très semblables.

Figure 26



Voici les correspondances en mm d'eau de la gamme médiane :

da	PF	Hp	CR	LP	LL
1,0	19	30	35	44	53
1,2	23	36	41	53	63
1,4	27	42	48	62	74

Ces sols peuvent être travaillés à l'état humide dans une gamme d'humidité assez étendue (20 à 25 mm). L'aptitude au tassement n'étant pas trop élevée on peut, le cas échéant, poursuivre les labours aux états ressuyé et frais, surtout à Bounda où les sols sont généralement bien structurés.

A l'état sec la cohésion est élevée limitant sérieusement les possibilités d'intervention sauf peut être à Bounda en raison du bon développement des structures.

Pulvérisage et semis devront être effectués de préférence à des humidités inférieures à Hp c'est à dire à l'état frais. Pour éviter tout risque de compactage il vaut mieux ne pas intervenir sitôt après une pluie supérieure à 30 mm.

742. Matériaux à pF 3,0 supérieur à 20

Il s'agit de matériaux argilo-limono-sableux qui représentent la plupart des appumites forestiers développés sur les schistes de Boyakro ainsi bien entendu que les arumites qui en dérivent.

Voici les principales caractéristiques (valeurs médianes) :

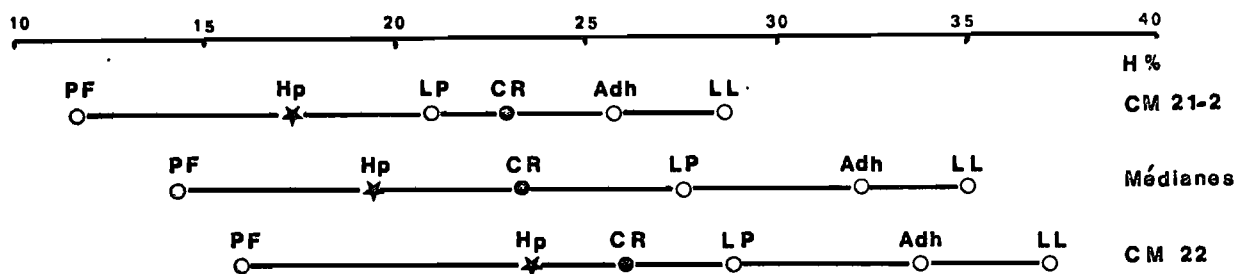
argile	30%
limons totaux	31%
sables grossiers	15%
limons/argile	1,0
sables fins/argile	0,7
carbone %	15 à 25

L'aptitude au compactage est faible.

La cohésion est très élevée à l'état sec.

La *figure 27* montre que les gammes observées présentent des écarts importants à la gamme médiane. Celle-ci ne fournit donc que des valeurs indicatives et chaque cas particulier devra être contrôlé à l'aide des appréciations de terrain.

Figure 27



Gamme médiane en mm d'eau :

da	PF	Hp	CR	LP	Adh	LL
1,0	29	39	46	55	64	74
1,2	34	46	56	66	77	89
1,4	40	54	65	77	90	104

Nous avons introduit ici un paramètre supplémentaire - Adh - qui représente le point d'adhésivité, c'est à dire l'humidité à laquelle la terre commence à adhérer fortement aux outils. Aucune intervention ne doit être envisagée à des humidités supérieures à Adh.

L'aptitude au compactage étant faible ces matériaux peuvent être travaillés dans une large gamme d'humidité entre Adh et PF, l'optimum se situant entre Hp et une humidité comprise entre LP et Adh (c'est à dire aux états humide plastique non adhésif, humide peu plastique, ressuyé). Des charrues à soc seraient sans doute beaucoup plus adaptées que les charrues à disques à ces états d'humidité.

La cohésion des sols à l'état sec paraît trop élevée pour qu'on puisse envisager des labours de routine aux humidités inférieures à PF. Il conviendrait cependant de faire des essais en sols bien structurés de manière à disposer d'une possibilité d'intervention lorsque se présente une année à saison sèche prolongée.

Il faut bien voir que l'état sec va, dans ces matériaux jusqu'à des quantités d'eau de 30 à 40 mm.

La *figure 28* récapitule les conditions théoriques de préparation du sol (labour) pour tous les matériaux que nous avons étudiés. Suivant les cas les interventions culturales sont :

- à éviter absolument (hachures horizontales),
- possibles moyennant un certain nombre de risques (hachures verticales),
- toujours possibles (pas de hachures).

Toutes les appréciations sont portées en fonction des états d'humidité tels qu'ils peuvent être perçus en manipulant la terre entre les doigts. Nous avons indiqué les humidités correspondantes en % ainsi qu'en mm d'eau (pour une densité apparente de 1,3).

Nous retiendrons surtout de cette figure que :

- Dans les sols sablo-argileux dérivés de granite c'est l'état sec qui offre les meilleures possibilités d'intervention. Lorsque la teneur en argile est plus élevée (pF 3,0 supérieur à 14) les sols peuvent également être travaillés à l'état humide. L'état ressuyé, qui correspond aux risques de tassement maximum, doit être absolument évité.
- Les sols dérivés de schistes seront travaillés de préférence à l'état humide, les interventions pouvant être poursuivies aux états ressuyé et frais.
- Pulvérisage et semis sont susceptibles de provoquer des tassements extrêmement importants. Il sera donc plus prudent de n'effectuer ces opérations qu'aux états frais ou sec. Il ne faudra jamais intervenir au stade juste ressuyé.

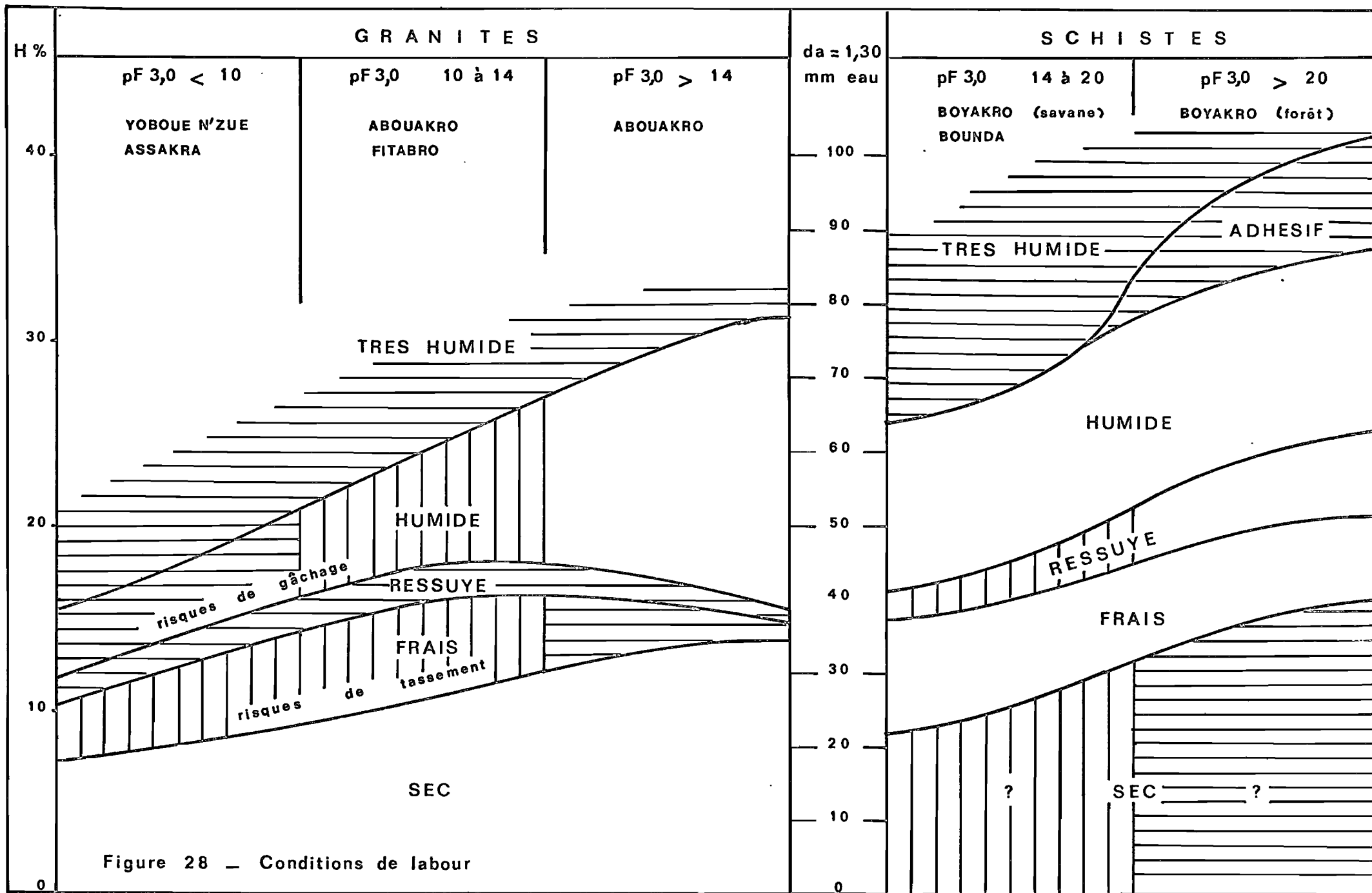


Figure 28 — Conditions de labour

CHAPITRE III - STABILITÉ STRUCTURALE

1 - Rappels méthodologiques

La notion de stabilité structurale est liée à la résistance plus ou moins grande qu'oppose une organisation pédologique à toutes les actions de dégradation et plus particulièrement à celles de l'eau.

Hénin a montré que la destruction des fragments de terre par éclatement au cours d'une humectation brutale est un des mécanismes majeurs intervenant dans le processus de dégradation de la structure. La cohésion propre des assemblages structuraux ainsi que les effets de non-mouillabilité liés aux matières organiques sont susceptibles de jouer un rôle important dans la résistance qu'offrent les fragments de terre au mécanisme d'éclatement.

La méthodologie mise au point par Hénin pour évaluer la stabilité structurale découle de ces observations. Rappelons qu'elle consiste à déterminer les taux d'agrégats résistant à un tamisage à 0,2 mm sous l'eau après divers prétraitements :

- Un prétraitement utilisant un liquide miscible à l'eau, tel que l'alcool éthylique. Il permet d'atténuer considérablement l'effet d'éclatement pour ne laisser jouer que des effets de cohésion. C'est essentiellement par l'usure au cours du tamisage que se manifeste la plus ou moins grande fragilité du matériau.
- Un prétraitement avec un liquide organique non miscible à l'eau, tel que le benzène. Il fait ressortir le rôle des matières organiques en accentuant les effets de la non-mouillabilité. Ce prétraitement accentue considérablement l'action de l'eau et aboutit à une dislocation intense des matériaux peu organiques.
- Un tamisage direct à l'eau sans prétraitement constitue le traitement de référence.

La détermination des taux de particules inférieures à 20 microns permet de distinguer les assemblages de taille inférieure à 0,2 mm des particules dispersées.

On peut alors définir un indice d'instabilité structurale I_s calculé de la manière suivante :

$$I_s = \frac{(A + Lf) \text{ max.}}{AgA + AgE + AgB - 0,9 Sg}$$

AgA = taux d'agrégats stables après prétraitement alcool,

AgB = taux d'agrégats stables après prétraitement benzène,

AgE = taux d'agrégats stables sans prétraitement,

Sg = taux de sables grossiers,

(A + Lf) max. = dispersion maximale, obtenue généralement avec le prétraitement benzène.

2 - Indice d'instabilité structurale

Dans les couples milieu naturel - milieu cultivé que nous avons étudiés la stabilité structurale des appumites est toujours supérieure à celle des arumites correspondants. C'est là un fait quasi constant : quelles que soient l'ancienneté du défrichement (quelques mois à cinq ans), le type de végétation (forêt, savane), la roche mère (granites, roches vertes, schistes), les différences vont toujours dans le même sens à de rares exceptions près.

Nous présenterons ici les résultats obtenus sur 81 horizons bien représentatifs de la région étudiée :

- 20 appumites supérieurs désignés par le sigle APs
- 19 appumites inférieurs désignés par le sigle APi
- 7 appumites indifférenciés " " AP
- 35 arumites " " " AR

Ces horizons ont pour origine :

- a) Le secteur-pilote de BOUNDA établi sur matériaux issus de roches vertes. Savane boisée. Bloc mécanisé observé un an après défrichement.

- b) Le secteur-pilote de BEHEKE sur granites. Savane arbustive. Bloc mécanisé observé six ans après défrichement.
- c) L'ensemble cultural de BOYAKRO implanté par l'A.V.B. sur schistes métamorphiques. Forêt et savane. Résultats portant sur des observations effectuées de deux à quatre ans après défrichement.
- d) Le secteur A.V.B. de BEOUMI sur granite (terroirs de Yoboué N'Zué, Assakra, Fitabro, Abouakro). Forêt et savane. Mesures effectuées de trois à cinq ans après défrichement.

En première approche la stabilité structurale peut être évaluée globalement à l'aide de deux indices :

- l'indice I_s défini plus haut et qui prend des valeurs d'autant plus élevées que la structure est moins stable,
- la vitesse de filtration K exprimée en cm/heure.

Le tableau suivant présente les valeurs médianes de I_s et K pour chaque type d'horizon suivant son origine.

		BOUNDA	BOYAKRO	BEOUMI	BEHEKE
Is	APs	0,3	0,7	0,5	0,5
	APi	0,4	1,6	0,7	1,3
	AR	0,8	2,6	1,3	
K	APs	60	13	25	—
	APi	50	7	15	—
	AR	30	6	5	—

On peut se demander si la péjoration de la stabilité structurale qui accompagne systématiquement la mise en culture est liée à des modifications importantes de la texture, de la richesse en matière organique, de la qualité de cette matière organique. Rappelons que la matière organique peut être caractérisée à l'aide des paramètres suivants :

- le rapport carbone/azote (C/N),
- le rapport acides fulviques/acides humiques (AF/AH),
- le rapport acides fulviques/humine (AF/H),

- le rapport acides humiques gris/acides humiques bruns (AHg/AHb);
- le rapport matières humiques totales/humine (MHT/H).

On peut admettre en première approximation que, à rapport C/A+Lf constant, la stabilité structurale est liée positivement à AHg/AHb, négativement aux paramètres AF/AH, AF/H et MHT/H.

Les valeurs médianes consignées dans le tableau suivant indiquent que la mise en culture ne change guère les paramètres caractéristiques du type de matière organique.

Valeurs médianes		A+Lf	C%	C/A + Lf	C/N	AF/AH	AF/H	AHg/AHb	MHT/H
BOUNDA	APs	55	28	0,50	17	0,5	0,4	2,0	1,0
	APi	54	19	0,35	16	0,6	0,5	2,3	1,2
	AR	53	19,5	0,35	16	0,6	0,5	2,1	1,3
BOYAKRO	APs	25	17,5	0,60	9	0,9	0,4	—	0,8
	APi	25	10,5	0,30	10	1,0	0,5	—	0,8
	AR	33	14,5	0,40	9	0,8	0,4	—	0,8
BEOUMI	APs	25	14,5	0,55	15	2,1	0,8	2,2	1,1
	APi	27	10,5	0,40	15	2,6	1,1	2,2	1,6
	AR	24	10	0,40	15	2,0	1,0	2,6	1,4
BEHEKE	AP	19	9	0,40	15	1,2	0,5	2,4	0,8
	AR	26	8,5	0,30	14	1,3	0,6	2,3	1,2

Dans le terroir de Bouda les arumites ne se distinguent des appumites inférieurs par aucune de leurs caractéristiques texturales ou organiques. Les indices Is et K sont cependant très différents et cela de manière hautement significative. Par contre appumites supérieurs et appumites inférieurs, pourtant nettement plus différenciés, ont des indices structuraux très voisins.

A Boyakro et Béoumi on pourrait s'attendre, d'après les caractères de la matière organique, à ce que les arumites présentent une stabilité structurale supérieure à celle des appumites inférieurs. Or c'est l'inverse qui se produit.

A Beheke la péjoration de la stabilité structurale est en meilleur accord avec l'évolution des autres paramètres : baisse

du rapport C/A+Lf, augmentation relative des acides fulviques, augmentation du rapport MHT/H.

3 - Analyse des tests de comportement

Les indices Is et K fournissent une mesure globale de l'instabilité structurale. Cette mesure ne peut être rattachée facilement, nous venons de le voir, aux autres paramètres caractérisant les matériaux pédologiques. Nous allons donc tenter de pousser l'analyse un peu plus loin au moyen des valeurs fournies par les différents tests de comportement.

Déjà intéressants à considérer en eux-mêmes les taux d'agrégats stables vrais (Ag - 0,9 Sg) et la dispersion maximum permettent en outre d'évaluer :

- a) *L'effet éclatement* dont l'importance se mesure par la différence $AgA - AgE$. Pour obtenir des résultats comparatifs cette différence est exprimée en pour cent de la fraction AgA :

$$\text{Effet Eclatement} = 100 (AgA - AgE) / AgA$$

- b) *L'effet benzène*. La différence $AgA - AgB$ rend compte de l'effet propre du benzène. Elle est d'autant plus élevée que le rôle protecteur des matières organiques est plus faible :

$$\text{Effet Benzène} = 100 (AgA - AgB) / AgA$$

- c) *Le taux de dispersion*, c'est à dire le rapport entre la valeur de A+Lf obtenue après prétraitement benzène et celle qui est fournie par l'analyse granulométrique.

$$\text{Taux de Dispersion} = (A+Lf)_{\text{max.}} / (A+Lf)_{\text{granulo.}}$$

Le taux de dispersion varie entre 0 et 1, c'est un bon indice de la sensibilité à la battance.

Le tableau suivant présente les valeurs médianes des tests de comportement pour chacun des trois types d'horizons étudiés.

		Ag A %	Ag E %	Ag B %	Eclatement % AgA	Benzène % AgA	Taux de dispersion
BOUNDA	APs	53	47,5	34	10	35,5	0,3
	APi	49	46	25	6,5	50,5	0,3
	AR	48	33	10,5	31,5	78,5	0,5
BOYAKRO	APs	31,5	15,5	7,5	36,5	68	0,4
	APi	23	11	4	50	78,5	0,7
	AR	24,5	7,5	3	59,5	85,5	0,7
BEOUMI	APs	24,5	18,5	10	23	63	0,4
	APi	28	19,5	7,5	29,5	73,5	0,5
	AR	18,5	10	4,5	37,5	73,5	0,6
BEHEKE	AP	21	17	7,5	20	64	0,4
	AR	22,5	15,5	4	30,5	83	0,6

31. Comportement des appumites

Les appumites que nous avons étudiés se répartissent en trois groupes bien différenciés suivant leurs comportement structuraux :

- a) Les appumites sur matériaux issus de roches vertes (Bounda) ont des structures stables :
 - Les taux d'agrégats sont élevés, y compris la fraction AgB ce qui est rare dans le milieu envisagé.
 - L'effet éclatement est très peu marqué.
 - L'effet benzène, faible au niveau des appumites supérieurs, augmente quand on passe aux appumites inférieurs moins riches en matière organique. Les valeurs restent cependant modérées.
 - Le taux de dispersion est faible.
- a) Les appumites sur matériaux issus de schistes (Boyakro) font preuve d'une instabilité structurale marquée qui s'accroît nettement quand on passe des appumites supérieurs aux appumites inférieurs :

- Les taux d'agrégats stables, moyens pour l'alcool, sont faibles à très faibles pour les autres prétraitements.
- L'effet benzène est toujours élevé.
- L'effet éclatement, déjà bien marqué dans les appumites supérieurs, augmente considérablement dans les appumites inférieurs.
- Il en va de même des taux de dispersion qui atteignent des valeurs très élevées dans les appumites inférieurs.

c) Les appumites sur matériaux issus de granites (Béoumi et Beheke) ont un comportement intermédiaire en ce qui concerne les effets d'éclatement et de dispersion. La fraction AgB est toujours faible, l'effet benzène du même ordre de grandeur que sur schistes.

Le comportement structural des appumites sur roches vertes n'appelle guère de commentaires, il est excellent.

Sur schistes et sur granites on notera surtout les taux de AgB très faibles et les valeurs élevées de l'effet benzène. Le rôle protecteur de la matière organique est très faible même lorsqu'elle est relativement abondante : on n'observe aucune relation entre l'effet benzène et le rapport C/A+Lf. Cela semble indiquer que la matière organique est peu liée à la matière minérale même lorsque la richesse en éléments fins est assez élevée (appumites forestiers de Boyakro).

32. Comportement des arumites

Le comportement des arumites apparaît comme beaucoup plus homogène que celui des appumites. Les arumites de Bounda ne se distinguent guère de ceux des autres terroirs étudiés :

- L'effet benzène est très élevé dans tous les cas, toujours supérieur à 70%.
- Les arumites de Bounda, Béoumi, Beheke présentent un comportement identique en ce qui concerne l'effet éclatement et le taux de dispersion.

- Eclatement et dispersion sont plus élevés sur les schistes de Boyakro où les arumites ont des caractères structuraux très voisins de ceux des appumites inférieurs. Ces derniers présentent donc une instabilité structurale potentielle susceptible de s'exprimer dès la destruction de l'environnement protecteur que constitue la végétation naturelle.

Les valeurs des taux de dispersion sont généralement en bon accord avec les observations de terrain. C'est ainsi qu'à Boyakro où la dispersabilité médiane est de 0,7 les croûtes de battance épaisses et litées représentent un des traits morphologiques majeurs des arumites.

33. Effets de la mise en culture

La mise en culture se traduit dans tous les cas par :

- un accroissement très net de l'effet éclatement,
- une augmentation importante des taux de dispersion dont les valeurs médianes ne sont jamais, en milieu cultivé, inférieures à 0,5.

L'augmentation de l'effet benzène n'est vraiment nette et significative qu'à Bounda. Dans tous les autres cas on n'observe que peu de variations par rapport aux valeurs déjà très élevées des appumites. Il n'y a jamais en tout cas tendance à une diminution de l'effet benzène.

La cohésion propre des éléments structuraux n'est guère modifiée par la mise en culture sauf à Béoumi où l'on note une légère baisse des taux d'AgA.

Le comportement structural des arumites est beaucoup moins différencié que celui des appumites. Cette homogénéisation tend à se faire à un niveau assez bas, c'est particulièrement net à Bounda où les paramètres structuraux ont subi une péjoration très rapide et importante. A Beheke par contre, où le niveau de départ était beaucoup plus faible, la variation est sensiblement moins importante.

En définitive les éléments structuraux des arumites apparaissent nettement plus sensibles que ceux des appumites aux processus d'éclatement et de dispersion : ils sont plus fragiles. Cette différence de comportement est difficilement explicable au moyen des seuls paramètres texturaux et organiques ainsi que l'a montré la recherche des liaisons pouvant exister entre les divers paramètres : seules les fractions AgA et AgB présentent des relations plus ou moins nettes avec la richesse en éléments fins (*Figures 29 et 30*). Pour tous les autres paramètres les relations qui peuvent exister confirment éventuellement la différenciation des appumites mais ne rendent jamais compte de manière satisfaisante des modifications liées à la mise en culture.

Actuellement nous ne pouvons que constater l'intensification des effets d'éclatement et de dispersion après mise en culture ainsi que la grande similitude de comportement de tous les arumites

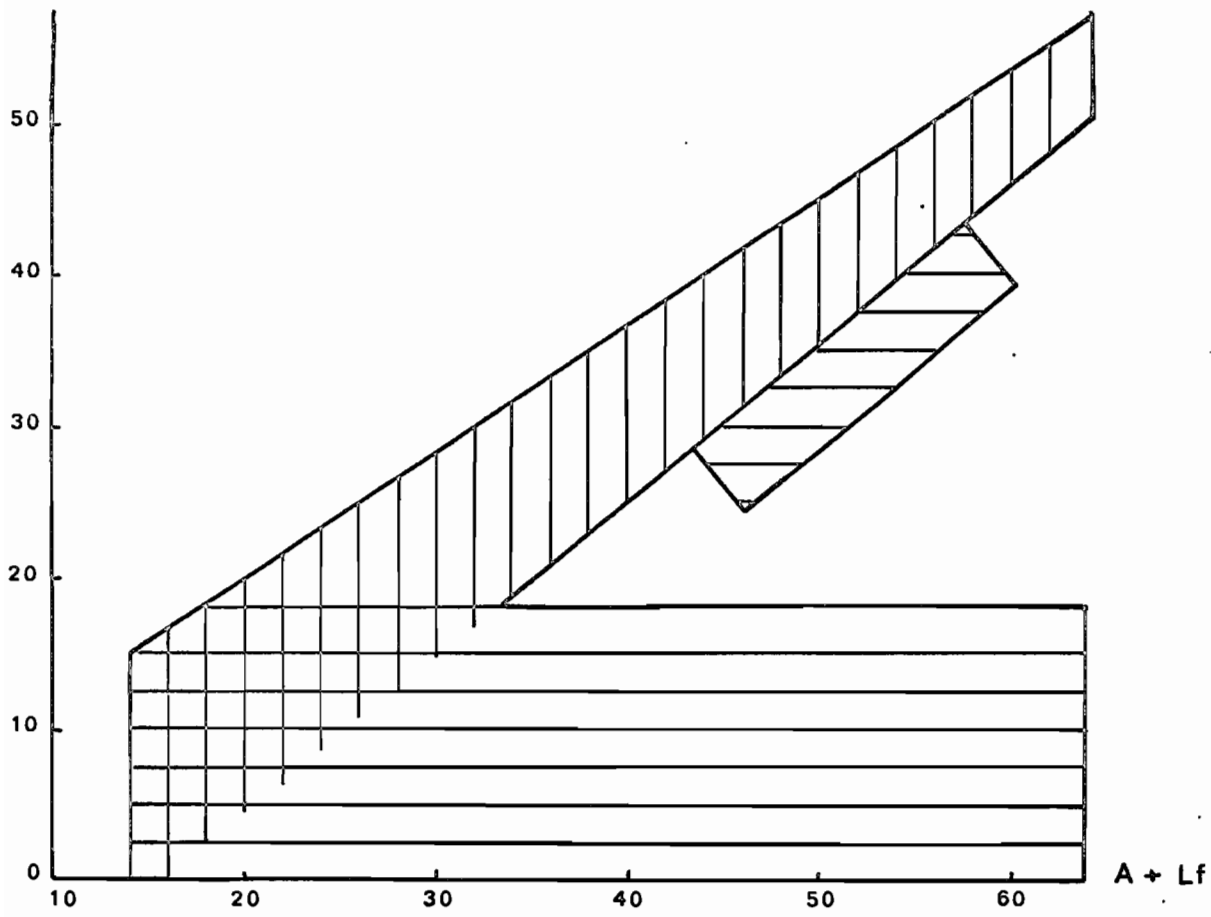
Il est vraisemblable que les éléments structuraux des arumites sont très différents de ceux des appumites en raison notamment :

- de l'activité beaucoup moins importante de la microfaune,
- des mélanges de matériaux consécutifs au défrichement
- des remaniements fréquents sous l'effet des techniques culturales et des agents atmosphériques,
- de la grande importance des structures aroclodes dont les éléments, obtenus par fragmentation artificielle de structures amérodés et pauciclodes, peuvent se comporter de manière toute autre que les agrégats "naturels".

La micromorphologie comparée des appumites et arumites apportera sans doute de nombreux renseignements, c'est du moins ce que laissent entrevoir les premières observations de lames minces.

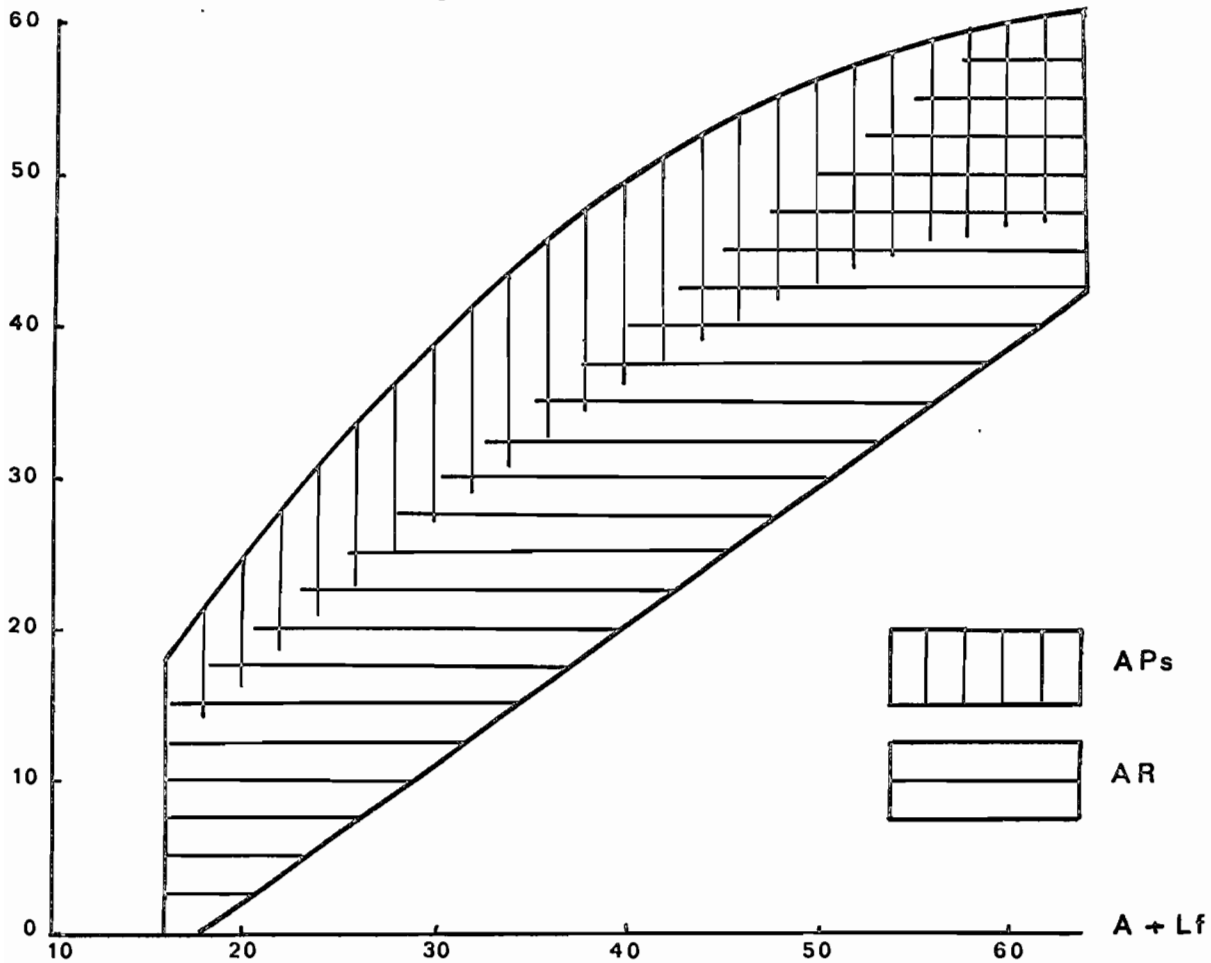
AgE %

Figure 29



AgA %

Figure 30



RÉSUMÉ - CONCLUSIONS

Contraintes pédologiques

L'étude morphologique des sols soumis à une mise en culture mécanisée récente montre que les organisations pédologiques créées par les techniques culturales sont souvent susceptibles de constituer des contraintes majeures pour les cultures.

Ces organisations ont un caractère temporaire, elles sont liées à des interventions humaines bien déterminées. Leur différenciation se fait suivant un mode latéral aussi bien que vertical.

Les schémas de différenciation que nous avons pu observer à la surface du sol et dans les arumites (horizons culturaux) permettent de mettre en évidence :

- Une forte tendance à la compaction. Les tassements peuvent être discontinus (roues de tracteur) ou généralisés (pulvérisages en conditions humides).
- Une grande sensibilité à la battance ainsi que l'atteste la présence fréquente de glaçages superficiels, de dépôts fins lités, d'épandages et placages sableux.

Présentant fréquemment de fortes différenciations tant latérales que verticales les arumites sont donc caractérisés par une hétérogénéité structurale élevée.

Hétérogénéité structurale, aptitude au tassement, sensibilité à la battance apparaissent bien comme des contraintes majeures affectant directement les systèmes racinaires des plantes cultivées et la dynamique de l'eau dans les sols.

Aptitude au tassement

Les appumites et arumites de la région étudiée sont constitués de matériaux peu plastiques et donc peu déformables qui réagissent aux pressions exercées en se réorganisant suivant un arrangement plus dense. Des courbes de compactage Proctor ont permis

de caractériser ces réorganisations en fonction de la teneur en eau.

La densité maximum que peut atteindre un matériau est d'autant plus élevée que les taux d'éléments fins (A+Lf) et de matière organique sont faibles.

L'humidité H_p correspondant à cette densité maximum est toujours très voisine de la capacité de rétention. Les risques de tassement sont donc les plus élevés quand on travaille les sols en conditions juste ressuyées.

Les matériaux sablo-argileux issus de granites sont très sensibles à la compaction. Les risques sont beaucoup moins grands pour les matériaux argilo-limono-sableux issus de schistes : densités maximum plus faibles, courbes de compactage beaucoup plus aplaties.

Cohésion à l'état sec

La cohésion, mesurée par la résistance à la pénétration, est toujours faible aux humidités supérieures à la capacité de rétention.

Elle augmente lorsque le sol se dessèche jusqu'à une humidité voisine de pF 4,2 :

- croissance rapide et valeurs finales élevées pour les matériaux issus de schistes,
- croissance lente et valeurs finales peu élevées pour les matériaux dérivés de granites.

En zone granitique on peut donc envisager des interventions culturales à l'état sec. Par contre les matériaux issus de schistes ou de roches vertes devront de préférence être travaillés à des humidités supérieures à pF 4,2.

Conditions de travail du sol

La détermination des gammes d'humidité utilisables pour les interventions culturales fait appel à cinq paramètres :

- LL limite de liquidité,
- LP limite de plasticité,
- CR capacité de rétention,
- Hp optimum Proctor,
- PF point de flétrissement (pF 4,2).

A ces paramètres on peut rattacher des états d'humidité facilement identifiables sur le terrain :

- Etat très humide au dessus de LL,
- Etat humide plastique entre LL et LP,
- Etat humide non plastique entre LP et CR,
- Etat ressuyé entre CR et Hp,
- Etat frais entre Hp et PF,
- Etat sec en dessous de PF.

Dans le cadre des appumites et arumites de la région Centre ces paramètres peuvent se déduire de la teneur en eau à pF 3,0 au moyen des relations suivantes :

Limite de liquidité

- granites $LL = 1,23 (pF 3,0) + 6,6$ $r = 0,96$
- schistes $LL = 0,81 (pF 3,0) + 12,2$ $r = 0,80$

Limite de plasticité

- granites $LP = 1,12 (pF 3,0) + 3,3$ $r = 0,92$
- schistes $LP = 0,70 (pF 3,0) + 9,1$ $r = 0,81$

Capacité de rétention

- pF 3,0 < 14% $CR = 0,85 (pF 3,0) + 6,4$ $r = 0,82$
- pF 3,0 > 14% $CR = 0,53 (pF 3,0) + 8,6$ $r = 0,88$

Optimum Proctor

- pF 3,0 < 14% $Hp = 0,76 (pF 3,0) + 5,6$ $r = 0,92$
- pF 3,0 > 14% $Hp = 0,40 (pF 3,0) + 8,8$ $r = 0,87$

Point de flétrissement

- granites $PF = 0,83 (pF 3,0)$ $r = 0,92$
- schistes $PF = 0,44 (pF 3,0) + 2,5$ $r = 0,90$

Les conditions de travail du sol suivant l'humidité dépendent au premier chef de la nature des matériaux c'est, à dire de la roche mère. On peut ensuite distinguer plusieurs sous-populations en fonction de pF 3,0. L'analyse des gammes d'humidité utilisables peut être résumée de la manière suivante :

- a) Dans les sols sablo-argileux dérivés de granites c'est l'état sec qui offre les meilleures possibilités d'intervention. L'intervalle PF-LL est en effet très restreint. Lorsque la teneur en argile est plus élevée (pF 3,0 supérieur à 14%) on peut envisager des interventions à l'état humide. L'état ressuyé, qui correspond aux risques de tassement maximum, doit être absolument évité.
- b) Les sols dérivés de schistes ou de roches vertes seront travaillés de préférence à l'état humide. Les interventions pourront être poursuivies aux états ressuyé et frais car les risques de tassement sont beaucoup moins élevés que sur granite. La cohésion élevée que présentent ces sols à l'état sec restreint considérablement les possibilités de travail aux humidités inférieures à pF 4,2.
- c) Pulvérisage et semis sont susceptibles de provoquer des tassements extrêmement importants. Il est donc préférable de n'effectuer ces opérations qu'aux états frais ou sec en évitant à tout prix le stade ressuyé.

Effet de battance

Si l'on compare le comportement structural des arumites à celui des appumites on constate une péjoration systématique de la stabilité structurale après mise en culture mécanisée.

Cette péjoration paraît essentiellement liée à l'intensification des processus d'éclatement et de dispersion. Le rôle protecteur des matières organiques, déjà faible dans le milieu naturel, n'est guère modifié après mise en culture (sauf sur roches vertes).

Il est à noter que la mise en culture tend à réduire fortement la diversification que l'on observe dans le comportement structural des appumites.

Ainsi que nous l'avons vu l'effet de battance est la manifestation la plus visible de la dégradation structurale. Comment atténuer cet effet de battance ? Les moyens sont classiques :

- a) Protection de la surface du sol contre l'impact direct des pluies. Il faut s'efforcer d'obtenir aussi rapidement que possible après le semis une culture bien couvrante : intervalles de plantation, fertilisation minérale, ...etc.
- b) Amélioration des possibilités d'infiltration. Il semble à cet égard que le maintien d'une certaine "rugosité" à la surface du sol soit un moyen de lutte efficace contre la battance. Il faut donc éviter de pulvériser trop finement le sol. L'utilisation d'outils à dents du type tiller pourrait concilier l'obtention d'une granulométrie structurale fine dans le lit de semence et la concentration de mottes plus grosses en surface.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEAUDOU (A.G.), BLIC (Ph. de) - 1978 - Etude typologique du complexe sol-plante en cultures intensives semi-mécanisées dans le Centre Ivoirien.
ORSTOM, Adiopodoumé, 33 p., multigr.
- BLIC (Ph. de) - 1973 - Evolution de quelques sols de Côte d'Ivoire sous l'effet du défrichement et de la culture mécanisée. Premières observations.
ORSTOM, Adiopodoumé, 58 p., multigr.
- BLIC (Ph. de) - 1975 - Comportement des sols après mise en culture mécanisée (Région Centre Côte d'Ivoire).
ORSTOM, Adiopodoumé, 47 p., multigr.
- BLIC (Ph. de) - 1976 - Le comportement de sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée : Rôle des traits hérités du milieu naturel.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 14, 2, pp. 113-130.
- BLIC (Ph. de) - 1976 - Evolution des sols après défrichement et mise en culture semi-mécanisée dans la région Centre. Enquête pédologique effectuée en 1975 sur les ensembles de BOYAKRO et BRIKRO (secteur de KOUNAHIRI).
ORSTOM - A.V.B., Adiopodoumé, 20 p., multigr.
- BLIC (Ph. de), MOREAU (R.) - 1977 - Evolution des caractères structuraux des sols ferrallitiques sous l'effet d'une mise en culture mécanisée récente en Côte d'Ivoire préforestière.
Int. Conf. on the "Role of soil physical properties in maintaining productivity of tropical soils". I.I.T.A., Ibadan, Nigeria, 6-10 décembre 1977.

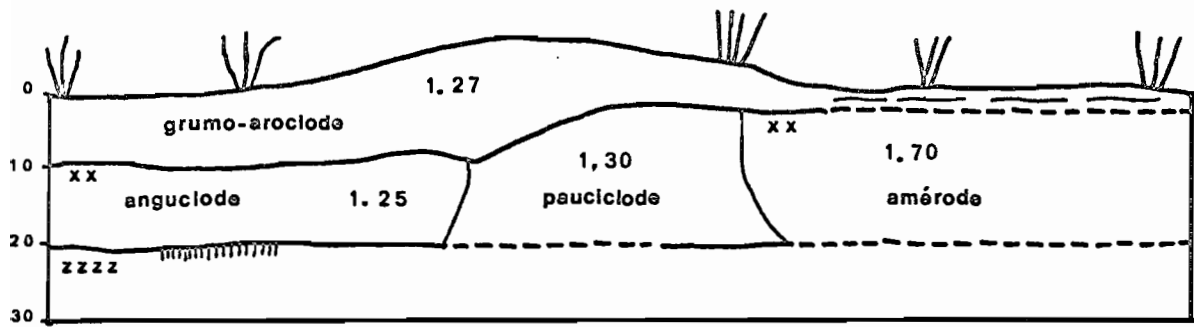
CHATELIN (Y.), MARTIN (D.) - 1972 - Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 10, 1, pp. 25-43.

FEODOROFF (A.), BETREMIEUX (R.) - 1964 - Une méthode de laboratoire pour la détermination de la capacité au champ.
Sc. du sol, Paris, 2è sem., pp. 109-118.

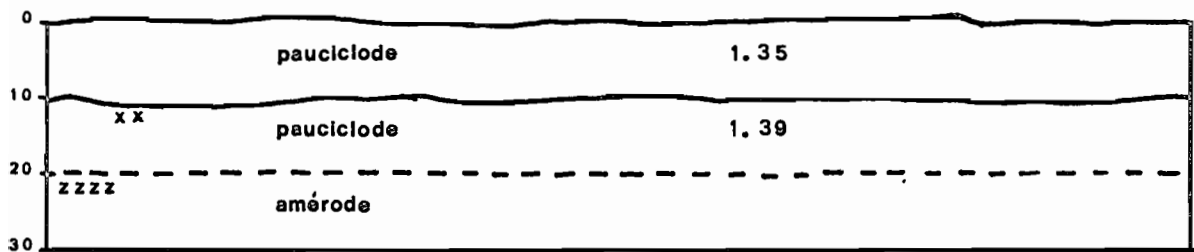
HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.) - 1969 - Le profil cultural.
2è édition, MASSON éd., 332 p.

PROFILS CULTURAUX

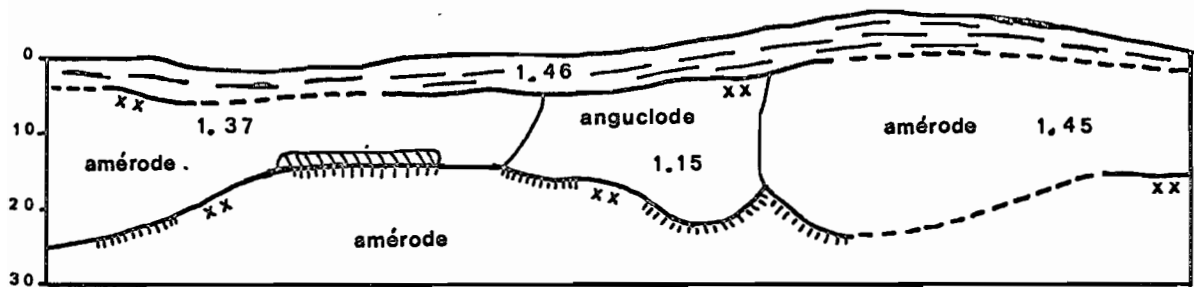
||||| lissages
 // végétaux enfouis



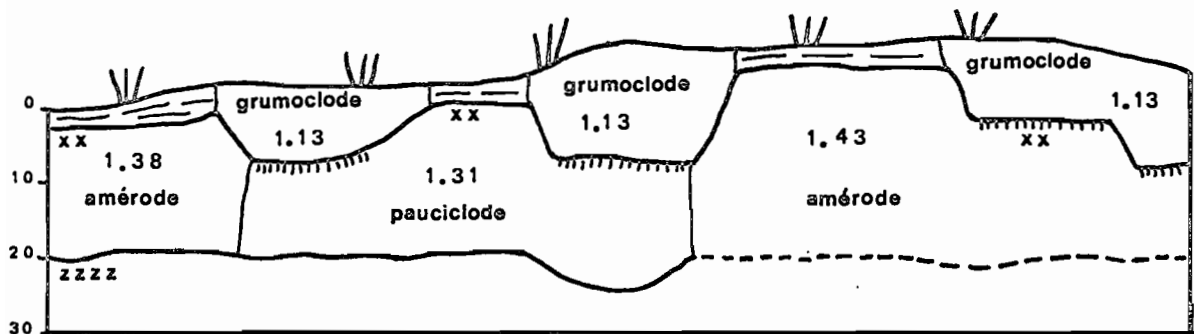
CM 1 - Yoboué - Riz - 3 ans



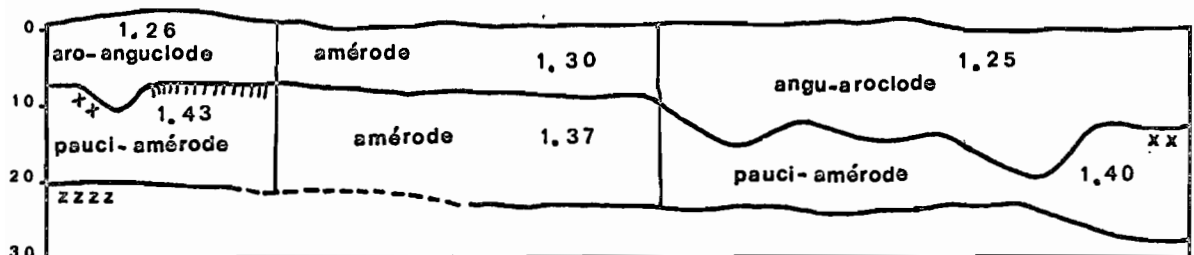
CM 2 - Yoboue - Stylo2 - 4 ans



CM 4 - Yoboue - Stylo2 - 4 ans

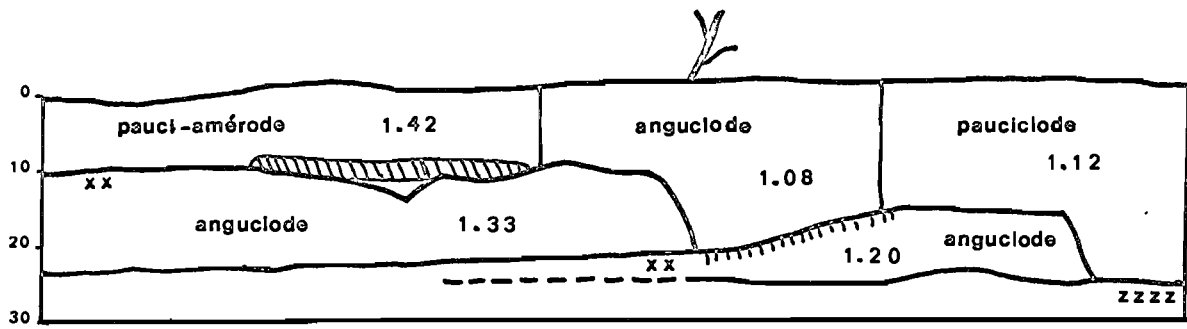


CM 5 - Abouakro - Riz - 2 ans

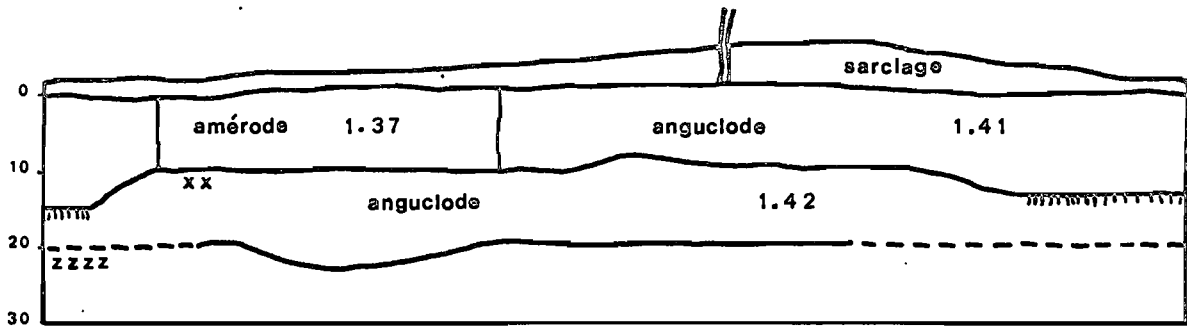


CM 7 - Abouakro - Stylo1 - 2 ans

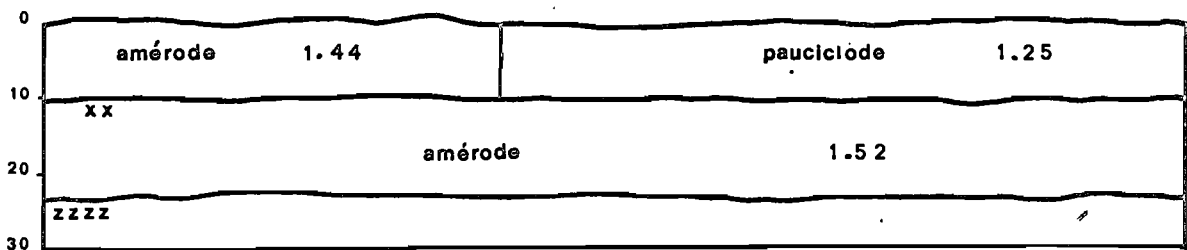
xx limite culturale
 zzzz limite pédo-culturale



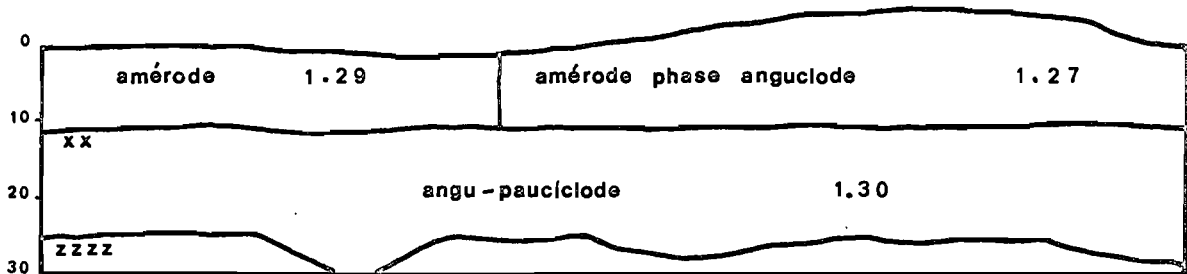
CM 9 - Bounda - Coton - ?



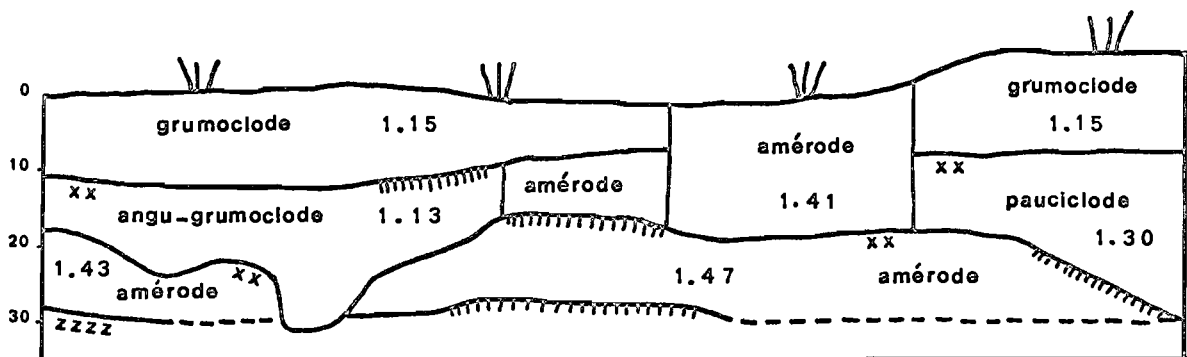
CM 10 - Bounda - Coton - ?



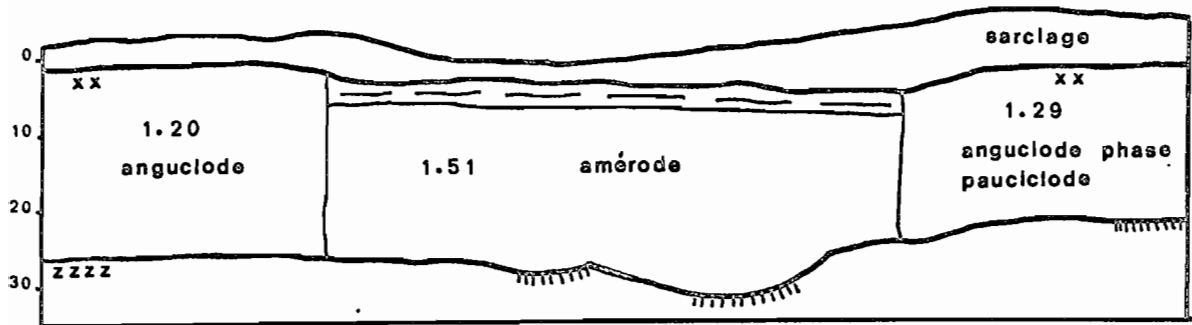
CM 12 - Fitabro - Stylo 2 - 4 ans



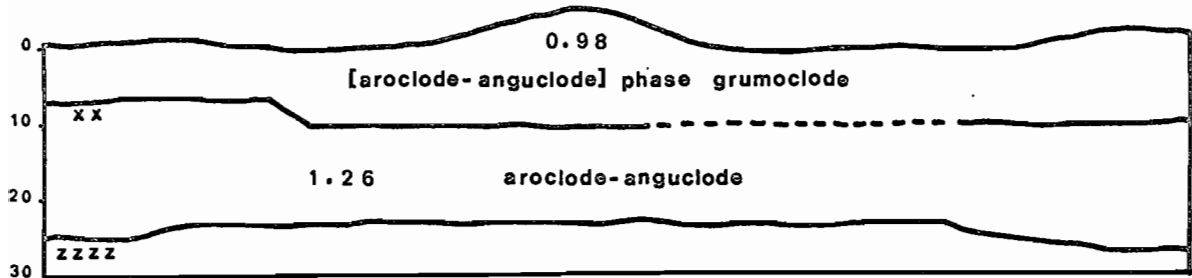
CM 13 - Fitabro - Stylo 2 - 5 ans



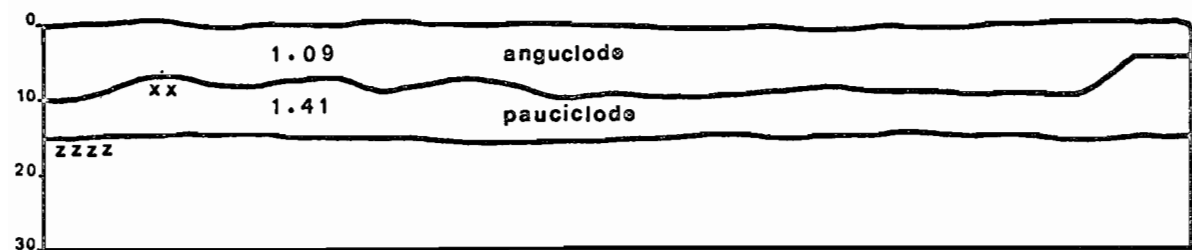
CM 15 - Fitabro - Riz - 4 ans



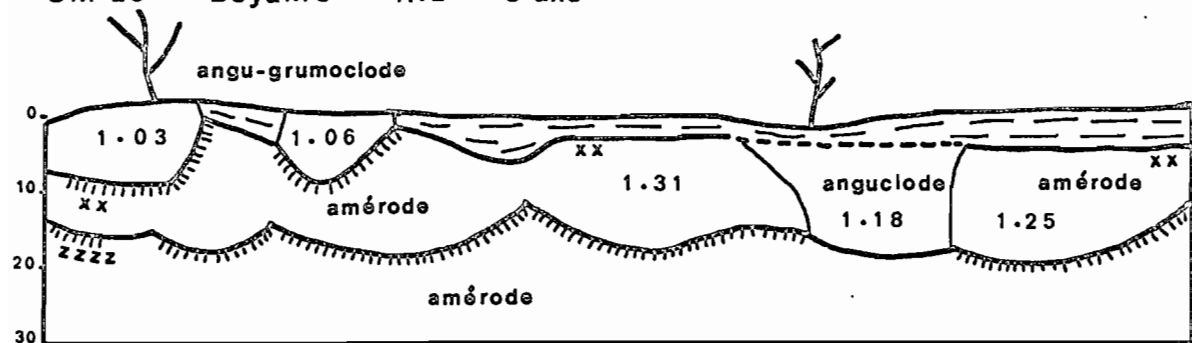
CM 16 – Boyakro – Riz – 4 ans



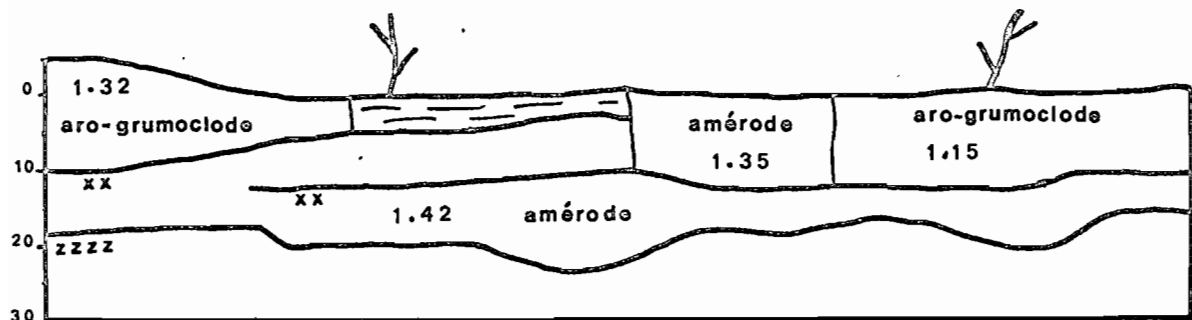
CM 18 – Boyakro – Stylo1 – 5 ans



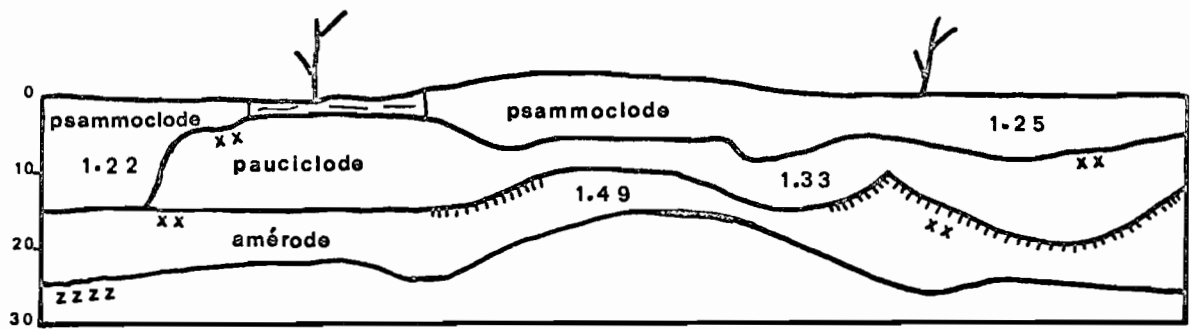
CM 20 – Boyakro – Riz – 3 ans



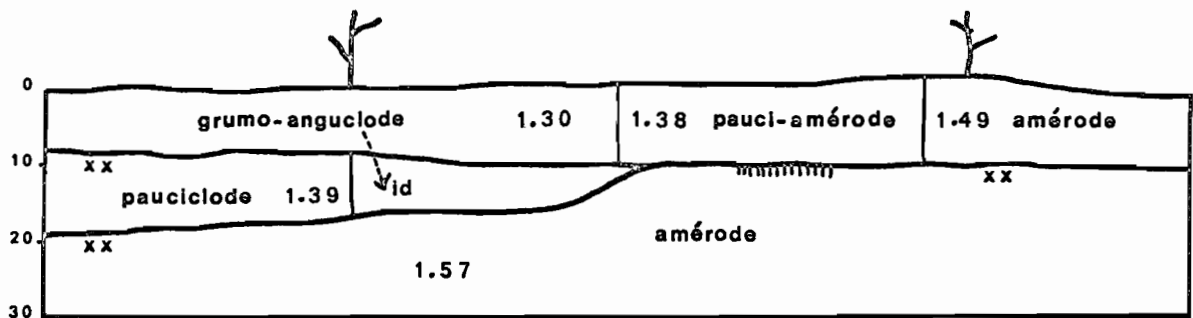
CM 22 – Boyakro – Coton – 3 ans



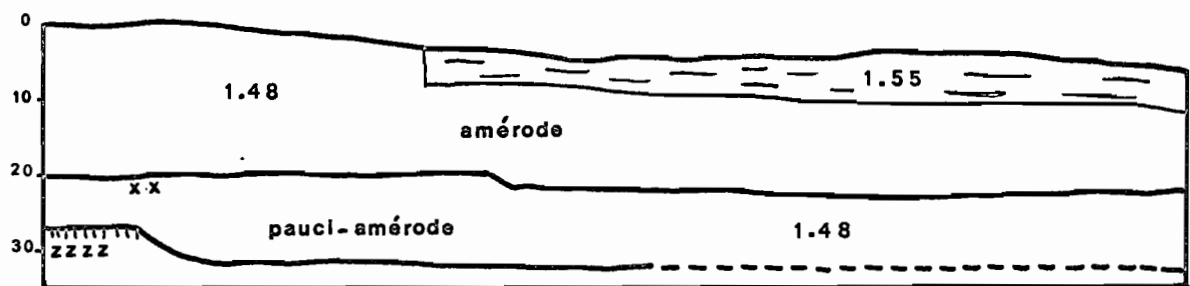
CM 23 – Yoboué – Coton – 2 ans



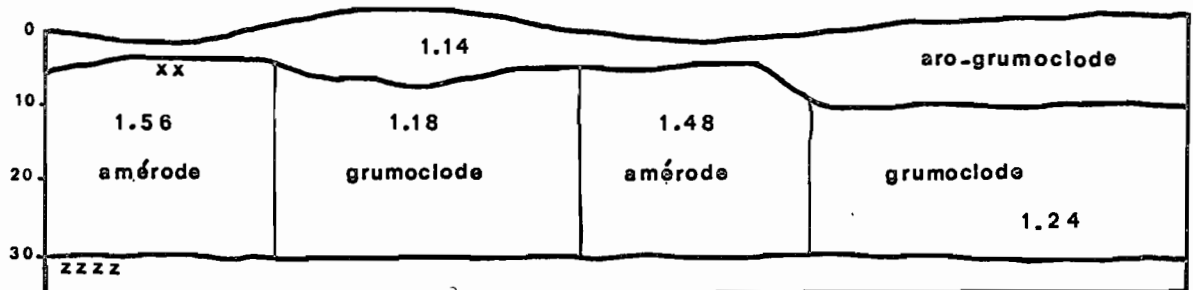
CM 24 - Yoboue - Coton - 4 ans



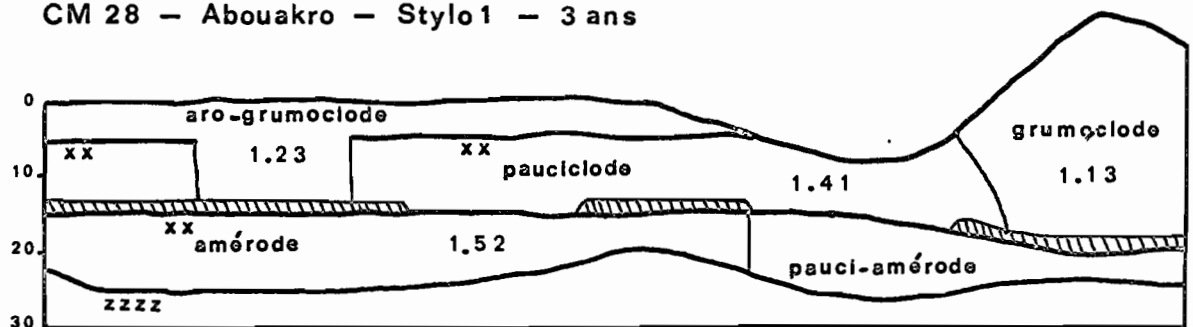
CM 25 - Fitabro - Coton - 4 ans



CM 26 - Assakra - Stylo 2 - 4 ans



CM 28 - Abouakro - Stylo 1 - 3 ans



CM 29 - Abouakro - Stylo 2 - 3 ans