Adiopodoumé, ORSTOM, 1977.
Projet de communication pour le Colloque d'Ibadan.

EVOLUTION DES CARACTERES STRUCTURAUX DES SOLS FERRALLITIQUES SOUS L'EFFET D'UNE MISE EN CULTURE MECANISEE RECENTE EN COTE D'IVOIRE PREFORESTIERE

Ph. de BLIC et R. MOREAU
pédologues de l'ORSTOM

oooooooooooooooooooooo

[redacted]

la mise en place d'un système agricole semi-mécanisé inséré directement en milieu paysannal traditionnel. La transposition en grande culture des techniques élaborées en stations expérimentales, leur adaptation à des milieux physiques et humains variés, ont rapidement posé un certain nombre de pro-

[redacted]

blèmes nécessitant le recours à des études de comportement en conditions

[redacted]

réelles d'exploitation. En ce qui concerne l'évolution des sols deux opérations de recherche complémentaires sont menées depuis 1974 :

- une étude suivie dans le temps sur des parcelles couplées milieu naturel-milieu cultivé bien représentatives du paysage pédologique régional,
- une enquête de comportement discontinue dans le temps mais largement étalée dans l'espace, surtout destinée à étudier les contraintes liées aux techniques culturales (2) (3).

Les résultats présentés ici ont trait à l'évolution des caractères structuraux des sols d'un terroir villageois.

MILIEU ET METHODES

La Mise en Valeur Agricole. Le système cultural qui est actuellement mis en place présente les caractères suivants :

- Défriche totale motorisée d'ensembles culturaux (150 hectares) correspondant chacun à un terroir villageois.
- Assolement quinquennal : igname, maïs-coton, riz pluvial, deux années de prairie artificielle pâturée à Stylosanthes. Au cours de la rotation chaque culture est regroupée sur un bloc d'une trentaine d'hectares.
- Mécanisation limitée aux gros travaux (labours, pulvérisages, semis); sarclages et récolte restent manuels.
- Encadrement technique des paysans qui cultivent en moyenne quatre hectares par famille.

Les Méthodes d'étude. Sept parcelles de 500 m^2 ont été implantées en avril 1974 avant la défriche de manière à constituer ensuite des couples milieu naturel - milieu cultivé. Elles sont situées sur un même type de sol (ferrallitique remanié modal à recouvrement épais de 20 à 30 cm) et deux formations végétales bien différenciées : jachère forestière, savane arborée claire.
La répartition de ces parcelles est la suivante :

P2-témoin forestier est couplée à P1-défriche forestière,

P4-témoin savane est couplée à P3-défriche de savane,

P7-témoin savane est couplée à P5 et P6-défriches de savane.

Les parcelles cultivées se répartissent en deux soles :

P1 et P5 - défriche puis riz plus Stylosanthes en 1974, maintien en prairie en 1975 et 1976 avec pâturage peu poussé sur P1 et surpâturage sur P5 .

P3 et P6 - défriche puis riz en 1974, igname sur buttes en 1975, semis de Stylosanthes en août 1976.

Stabilité structurale, granulométrie, caractéristiques chimiques et organiques ont été mesurées avant et après défriche, puis tous les trois mois à trois profondeurs 0-10, 10-20, 20-30 cm. Le niveau 30-50 cm est analysé une fois par an. Une fois par an également l'implantation de fosses pédologiques permet l'observation comparée des caractères de structure et d'enracinement appuyée sur des mesures de densité apparente. On a effectué en outre en 1976 des mesures de capacité de rétention hydrique et de vitesse d'infiltration.

MORPHOLOGIE DES SOLS

Analyser l'organisation d'un profil pédologique revient à distinguer un certain nombre de "volumes structuraux homogènes" correspondant chacun à l'extension spatiale d'un type structural déterminé ou d'une association bien

définie de types structuraux; aucune discontinuité majeure - limite pédologique nette, semelle de labour - ne recoupe un volume homogène. Des termes synthétiques simples, empruntés pour la plupart à la Typologie des Sols Ferrallitiques (4), permettent alors de définir les volumes structuraux :

Amérode ..... structure massive.

Pauciclode ..... structure massive à débits polyédriques, structures fragmentaires peu nettes.

Anguclode ..... structures fragmentaires nettes.

Grumoclode ..... structures grumeleuse et polyédrique fine arrondie.

Hétéroclode ..... mélange lâche de petites mottes arrondies, d'agrégats de tailles variées et d'éléments particulaires.

Ces termes peuvent être combinés entre eux pour traduire l'association de plusieurs types structuraux (1).

Morphologie avant Défrichement. Les sols étudiés montrent tous une différenciation pédologique très poussée à leur partie supérieure où l'on distingue trois horizons.

L'horizon humifère sensu stricto, épais de 10 cm, est caractérisé par des structures fragmentaires bien développées et des porosités supérieures à 55% . Sous témoin forestier les agrégats polyédriques, de tailles comprises entre 1 et 3 cm, définissent une structure homogène de type anguclode. Sous savane on observe une certaine différenciation latérale liée à la répartition de l'enracinement fin herbacé : agrégats arrondis de taille inférieure à 1 cm sous les touffes d'herbe, agrégats plus anguleux de tailles comprises entre 1 et 3 cm entre les touffes; la structure globale de l'horizon peut alors être définie comme grumo-anguclode.

L'horizon de pénétration humifère, épais de 10 à 20 cm, montre tant sous savane que sous végétation forestière des structures peu développées de type pauciclode; les éléments polyédriques, très mal individualisés, ont une taille moyenne de 5 cm environ. Les porosités sont comprises entre 50% et 55%.

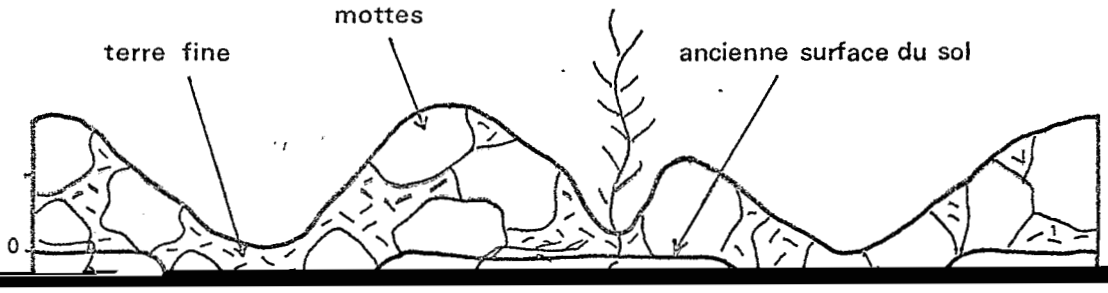
On observe alors généralement, à une profondeur comprise entre 20 et 30 cm, le passage brutal à un matériau très riche en gravillons ferrugineux, parfois induré en carapace. Les porosités sont de l'ordre de 40% à 50% sous jachère forestière, inférieures à 40% sous savane. Ce niveau gravillonnaire se poursuit au delà de un mètre de profondeur.

Effets Immédiats du Défrichement et de la Mise en Culture. Les opérations de défrichement, effectuées fin mai et début juin 1974, ont comporté :

- l'abattage de la végétation préexistante au bull-dozer,
- un andainage sur des lignes distantes de 50 m et disposées au plus près possible des courbes de niveau,

PLANCHE A _ PROFILS CULTURAUX SUR DEFRICHE RECENTE

Figure 1 _ Défriche de savane, Sous-solage



- l'arrachage des racines par sous-solage à 30 cm de profondeur.

Après défrichement le sol de savane apparaît relativement peu perturbé. 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

tendance horizontale.

- Le maintien de la différenciation latérale créée lors des opérations de défrichement.

Les parcelles de savane P3 et P6 ont été cultivées et travaillées normalement. La planche B schématise l'évolution des caractères de structure et porosité au cours des trois ans qui ont suivi la défriche. A noter que le profil de la figure 4d n'a pas été observé sous igname mais sur une autre sole (riz après coton). On retiendra surtout les caractères suivants :

- Surimposition par les techniques culturales d'une différenciation latérale poussée à l'organisation pédologique initiale. Cette différenciation peut devenir nettement prédominante (figure 4e).
- Individualisation d'un sous-horizon cultural supérieur épais de 18 à 12 cm.

PLANCHE B — STRUCTURE ET POROSITE

VOLUMES STRUCTURAUX	
A _ Amérode	58 Porosité %
Ag _ Anguclode	végétaux enfouis
G _ Grumoclode	semelle de labour lissée
H _ Hétéroclode	limite culturale
P _ Pauciclode	limite pédologique
G-Ag _ Grumo-anguclode	limite pédo-culturale

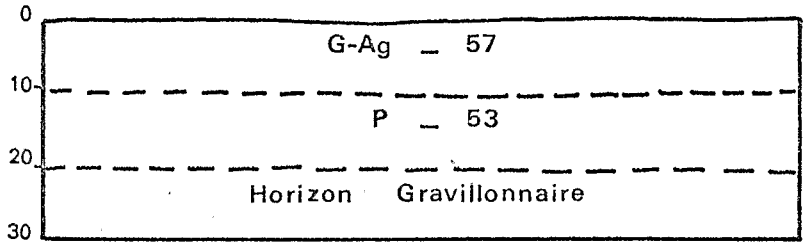


Fig. 4a _ Sol témoin de Savane.

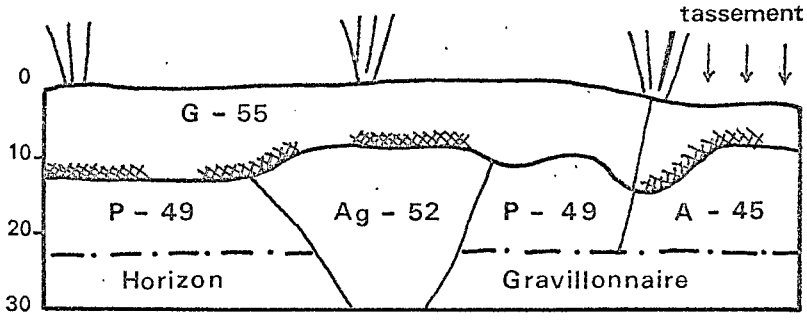


Fig. 4b _ Cinq mois après défriche de Savane

différenciation verticale, raie de sous-solage.

Fig. 4c _ Cinq mois

Tableau 1 - Porosités au cylindre et porosités mottières, valeurs moyennes.

Parcelles	Horizon	Porosité cylindre %	Porosité mottière %
Jachère forestière	0-10 cm	58	45 (44,5)
	10-20 cm	53	39 (39)
Défriche forestière	0-20 cm	47	38 (30)
Témoin de savane	0-10 cm	57	42 (42)
	10-20 cm	53	38 (35)
Défriche de savane	0-20 cm	49	37 (39)
Autre défriche de savane	0-20 cm	50	39

Deux ans et demi après défriche les porosités mottières mesurées sous culture sont très homogènes, du même ordre de grandeur que dans les horizons de pénétration humifère naturels (10-20 cm). Les valeurs plus élevées relevées dans les horizons humifères naturels (0-10 cm) témoignent d'une importante porosité d'origine biologique.

La diminution de porosité totale cylindre que l'on observe dans les horizons culturaux par rapport aux horizons de pénétration humifère joue essentiellement sur la macroporosité structurale.

Les opérations de défrichement ont provoqué, en milieu forestier, une diminution sensible de la porosité mottière par rapport aux sols demeurés sous jachère forestière. Deux ans de prairie à Stylosanthes ont fait remonter cette porosité de 30% jusqu'à 38% c'est à dire à un niveau comparable à celui des autres sols.

Vitesse d'Infiltration. 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 2 présente les résultats de mesures effectuées en surface autour des profils pédologiques. Chaque valeur est la médiane de 15 mesures.

On notera l'effet dépressif de la mise en culture et surtout la dégradation extrêmement importante de la structure sous l'effet du surpâturage.

La figure 5 présente des mesures d'infiltration effectuées à l'intérieur des profils pédologiques; chaque mesure a été couplée avec une détermination de la densité apparente. Pour la commodité de la représentation les temps d'infiltration sont traduits en vitesses. On observe un bon accord entre les

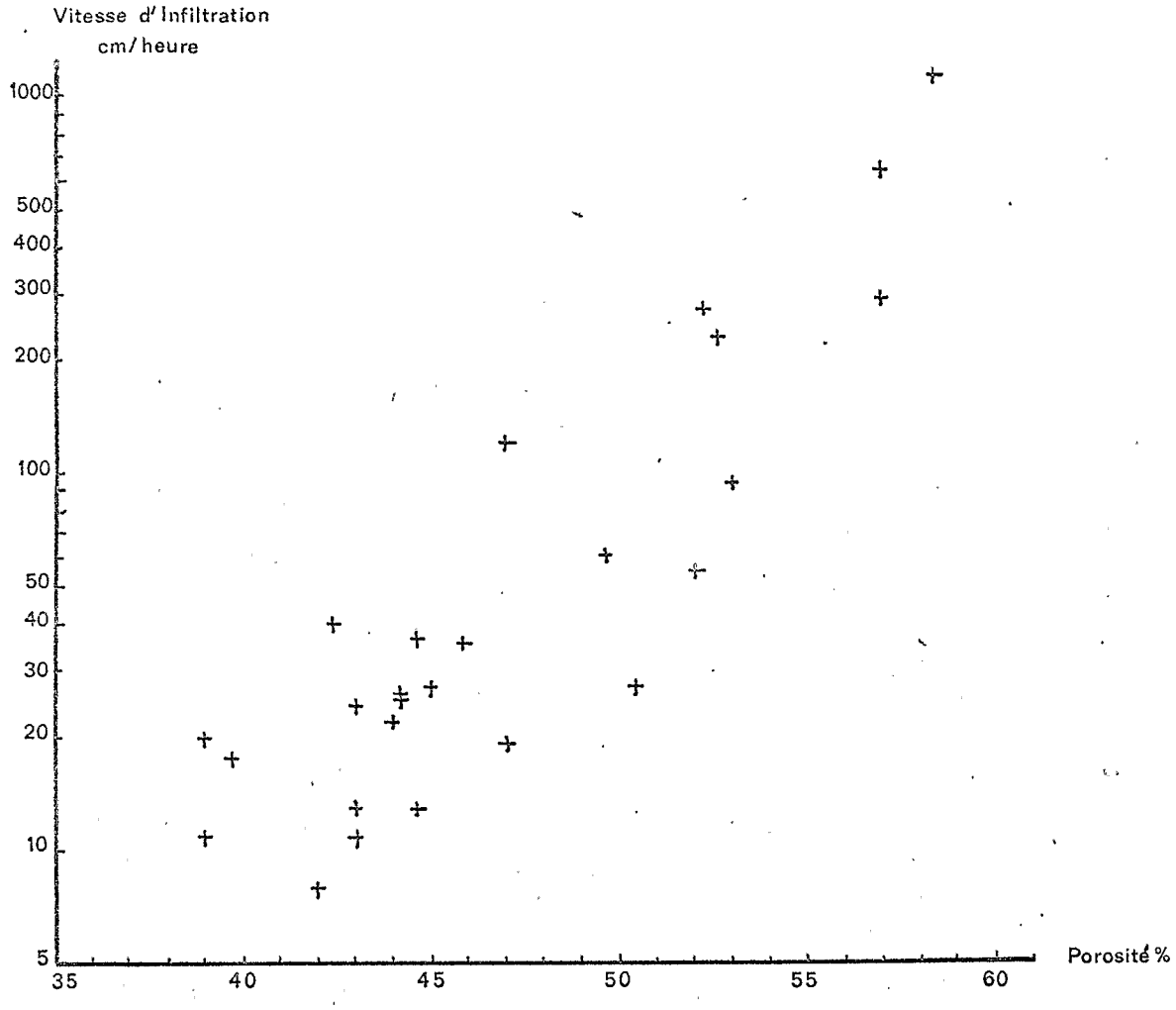


Fig. 5 _ Relation entre la porosité des volumes structuraux et la vitesse d'infiltration

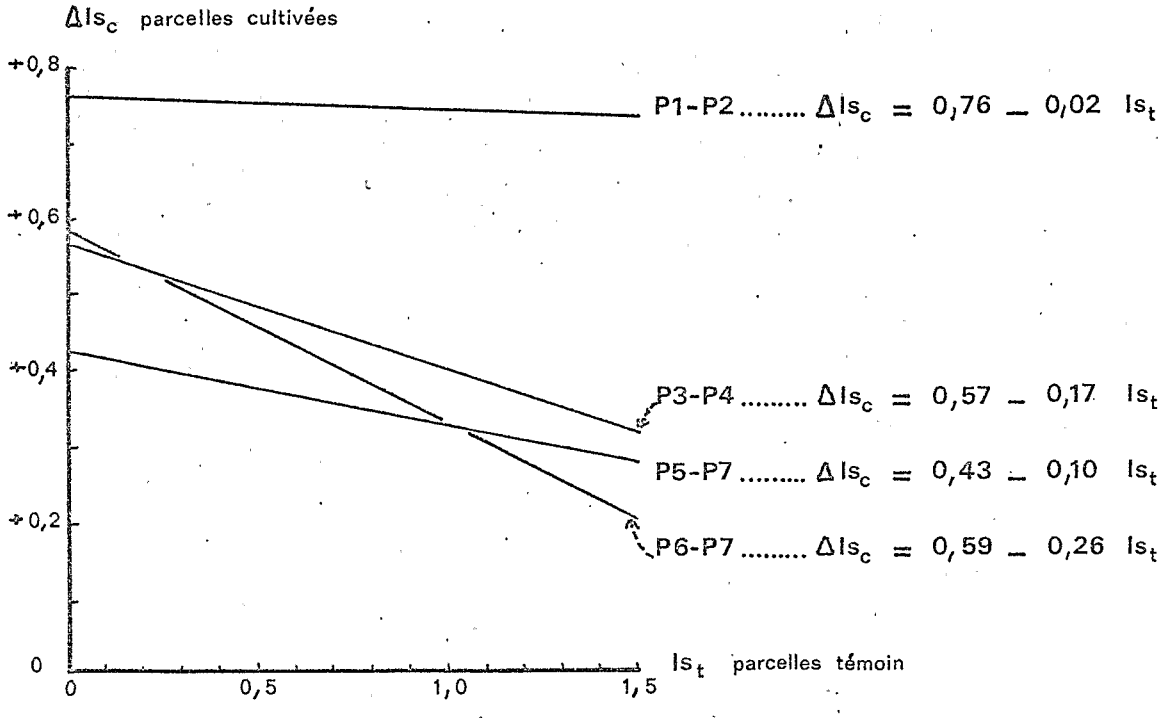


Fig. 6 _ Equations des variations de Is sous l'effet de la mise en culture

deux paramètres structuraux.

Tableau 2 - Temps d'infiltration d'une lame d'eau de 10 cm, valeurs médianes

N° Parcelle	Végétation	Temps d'infiltration en minutes
P2	Jachère forestière	0,7
P4	Savane	2,1
P3, P6	Stylosanthes 8 mois	7,1
P1	Stylosanthes 3 ans pâturé	11,6
P5	Stylosanthes 3 ans surpâturé	27,3
hors parcelles	Riz après coton	8,0

EVOLUTION DE LA STABILITE STRUCTURALE

Le comportement des éléments structuraux au cours des deux premières années de culture a été étudié à l'aide du test de Hénin et al. (5). Ce test comporte la détermination des taux d'agrégats résistant à un tamisage à 0,2 mm sous l'eau après trois prétraitements (alcool, benzène, prétraitement nul) et permet d'établir un indice d'instabilité structurale Is qui prend des valeurs d'autant plus élevées que la structure est moins stable. La richesse en éléments fins et en sables grossiers intervient dans le calcul de cet indice qui s'avère peu sigmificatif en dessous de 10% d'argile. La texture sablo-argileuse des sols étudiés ici permet par contre une utilisation correcte de Is (tableau 3).

Tableau 3 - Taux d'argile avant défrichement dans les 7 parcelles.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
0 - 10 cm	17,8	17,3	17,2	17,3	22,6	18,7	18,9
10 - 20 cm	19,0	19,5	20,0	20,2	23,8	21,5	21,7
20 - 30 cm	20,5	21,0	24,7	23,0	26,5	24,4	24,6

Signalons au passage que la mise en culture s'est accompagnée, en milieu forestier, d'une augmentation relativement faible (3-4%) mais hautement significative des taux d'argile et ce jusqu'à 30 cm de profondeur; les horizons plus profonds sont restés inchangés. En savane seuls les dix premiers centimètres de P3 ont montré un enrichissement significatif mais très faible (moins de 2%) en argile.

Valeurs de Is avant et après Défrichement. Avant défrichement la stabilité structurale de l'horizon superficiel 0-10 cm est plus élevée sous jachère forestière (P1 et P2) qu'en savane (P3, P4, P5, P6, P7). Les horizons sous-jacents présentent un comportement structural identique quel que soit le type de végétation.

Tableau 4 - Valeurs de Is avant défrichement.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
0 - 10 cm	0,34	0,37	0,69	0,63	0,60	0,58	0,63
10 - 20 cm	0,80	0,83	0,79	0,73	0,69	0,66	0,73
20 - 30 cm	1,17	1,22	1,30	1,25	1,18	I,13	1,18

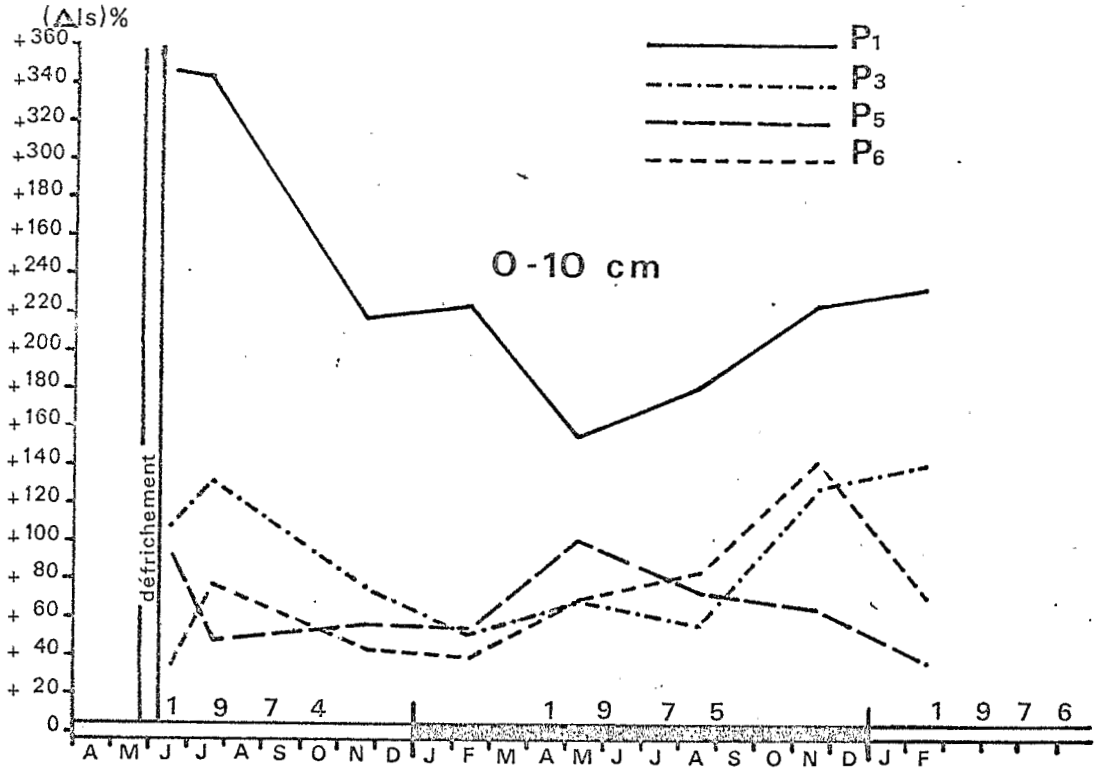
On observe après défrichement une augmentation de l'indice d'instabilité structurale dans toutes les parcelles. Si l'on rapporte les valeurs de Is dans les parcelles cultivées à celles des témoins on constate que cette augmentation est plus importante sur la défriche de forêt P1 qu'en savane (tableau 5).

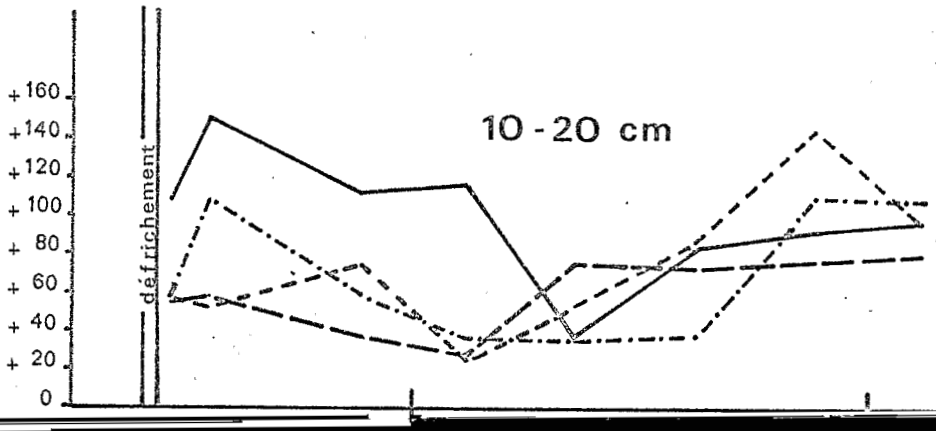
Tableau 5 - Augmentation de Is dans les parcelles cultivées par rapport aux témoins.

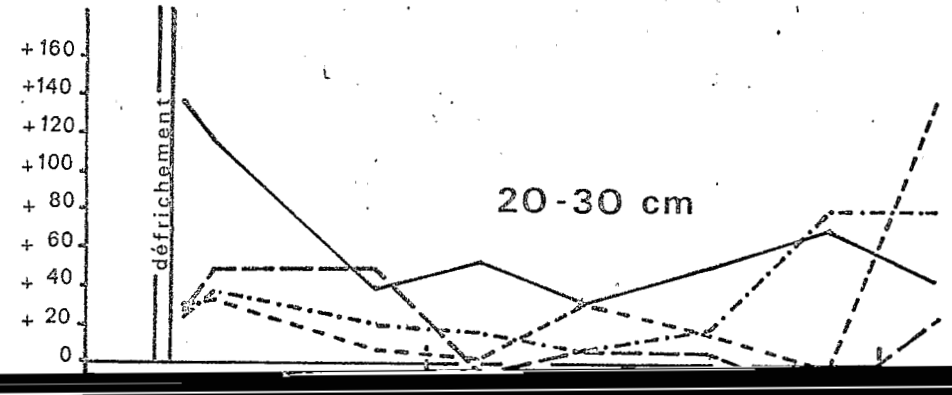
	P1	P3	P5	P6
0 - 10 cm	+ 241%$^{++}$	+ 96%$^{++}$	+ 67%$^{++}$	+ 71%$^{++}$
10 - 20 cm	+ 99%$^{++}$	+ 69%$^{++}$	+ 60%$^{++}$	+ 73%$^{++}$
20 - 30 cm	+ 68%$^{++}$	+ 35%$^{+}$	+ I7%$^{-}$	+ 24%$^{-}$

++ significatif au seuil 1%, + significatif au seuil 5%, - non significatif

Calculée sur les 8 mesures effectuées de juin I974 à février I976, l'augmentation relative de Is est partout significative à l'exception du niveau 20-30 cm des parcelles P5 et P6.


(Δs)%
+360
+340
+320
+300
+180
+160
+240
+220
+200
+180
+160
+140
+120
+100
+ 80
+ 60
+ 40
+ 20
0
défrichement
P1
P3
P5
P6
0-10 cm
1 9 7 4
1 9 7 5
1 9 7 6
A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F


+160
+140
+120
+ 100
+ 80
+ 60
+ 40
+ 20
0
défrichement
10-20 cm


+160
+140
+120
+100
+ 80
+ 60
+ 40
+ 20
0
défrichement
20-30 cm

sol en deuxième année. Cependant la parcelle P5 issue de savane, qui est également conduite en prairie à Stylosanthes, ne présente pas ce maximum de fin de défriche.

La variation de Is par rapport au témoin, dans les 10 cm supérieurs, se maintient toujours à un niveau plus élevé en défriche forestière que dans les parcelles issues de savane. Au dessous cette différence, moins importante, se maintient durant la première année, puis tend à disparaître. Sur les parcelles P3 et P6 le labour et la plantation d'igname ont favorisé une dégradation accrue de la structure en fin de deuxième année (effet des fortes pluies de septembre) par rapport aux parcelles P1 et P5 conduites en prairie artificielle.

Caractérisation d'un Effet Mise en Culture. Si l'on regroupe toutes les mesures effectuées dans la tranche de sol 0-30 cm on peut mettre en évidence, pour chaque couple, une corrélation positive hautement significative entre les valeurs Is de la parcelle cultivée et celles du témoin. Deux droites de régression peuvent être calculées :

l'une avant défriche ..... $y = ax + b$ (a voisin de 1 et b de 0),

l'autre sous culture ..... $y = a'x + b'$

Si l'on calcule alors pour chaque couple les valeurs $\Delta a = a' - a$ et $\Delta b = b' - b$, Δa et Δb constituent les paramètres d'une nouvelle équation linéaire de la forme :

$$Is_c - Is_t = \Delta Is_c = \Delta a \times Is_t + \Delta b$$

où Is_t représente les mesures sur témoin et Is_c sur parcelle cultivée.

L'équation ainsi obtenue peut être considérée comme une expression de l'effet de la mise en culture sur la stabilité structurale. On peut voir sur la figure 6 les droites de régression relatives à chacun des couples. Les valeurs de Is étant par ailleurs liées à la profondeur chaque équation peut traduire indirectement les variations relatives de l'instabilité en fonction de la profondeur.

La figure 6 montre que, sous défriche forestière, l'augmentation de Is est, d'une part beaucoup plus importante qu'en savane, d'autre part pratiquement indépendante de la profondeur.

Is et Matière Organique. Seul le couple P1 - P2 présente une corrélation négative significative entre les variations relatives de Is ($\Delta Is\%$) et celles du carbone total ($\Delta C\%$) :

horizon 0-10 cm ..... $\Delta Is\% = 185,6 - 6,5\ \Delta C\%$ $(r = 0,770^{++})$

horizon 10-20 cm ..... $\Delta Is\% = 89,6 - 3,4\ \Delta C\%$ $(r = 0,637^{++})$

Cette corrélation n'existe donc qu'en milieu forestier où les variations de Is sont les plus importantes. Sur l'ensemble des parcelles, et notamment en savane, l'augmentation de Is peut être imputée à d'autres causes que la diminution du stock organique.

Is et Pluviométrie. Il existe, sur les parcelles P3, P4 et P5, une liaison positive significative entre les valeurs de Is et la pluviométrie de la quinzaine précédant les prélèvements. Les coefficients de régression sont toutefois très faibles (respectivement 0,016 pour P3, 0,008 pour P4, 0,016 pour P5) Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre les variations de Is (en % du témoin) et la pluviométrie. Ce sera un point à suivre lorsqu'on disposera d'un plus grand nombre de mesures.

CONCLUSIONS

- Le défrichement mécanisé ne perturbe qu'assez peu les sols de savane où l'on n'observe pas de mélanges d'horizons. En milieu forestier les remaniements, nettement plus importants, apparaissent surtout liés au dessouchage des arbres et à l'arrachage des racines.

- A la différenciation pédologique en horizons se surimpose une différenciation latérale poussée. La répartition et la morphologie des volumes structuraux sont alors étroitement liées, d'une part à la nature des techniques culturales, d'autre part aux conditions du sol (humidité en particulier) lors de la mise en oeuvre de ces techniques.

- Les passages de roues de tracteur en conditions humides provoquent la formation, et ce sur toute l'épaisseur de l'horizon cultural, de volumes amérodes à porosité réduite peu pénétrables par les racines. Des études en cours montrent que les risques de tassement maximum (optimum Proctor) se situent, pour les sols étudiés, aux environs de la capacité de rétention.

- Le surpâturage réduit de manière spectaculaire les possibilités d'infiltration des pluies. Les observations montrent alors une densification importante des cinq à dix centimètres supérieurs.

- La densification consécutive à la mise en culture résulte essentiellement d'un effacement plus ou moins total de la macroporosité structurale (interpédique). Cela apparaît nettement en lame mince. La microporosité (intrapédique) ne subit que peu de changements.

- La mise en culture entraine, dès le défrichement, une élévation très sensible de l'instabilité structurale. Cette évolution très rapide, liée à la modification du milieu, paraît difficile à éviter.

- Dans le milieu naturel les horizons superficiels (0-10 cm) forestiers montrent une meilleure stabilité structurale que leurs homologues de savane : milieu protecteur, activité biologique intense permettent d'expliquer ce comportement. Après mise en culture l'augmentation de Is est proportionnellement plus importante sur défriche forestière où les valeurs observées tendent à rattraper celles des défriches de savane.

- La diminution des taux de matière organique ne peut à elle seule expliquer l'élévation générale de Is en milieu cultivé. Des études en cours montrent qu'une modification qualitative de la matière organique pourrait également intervenir.

- En outre des observations récentes (3) suggèrent que, dans le milieu étudié, Is pourrait dépendre en grande partie de la cohésion propre des assemblages structuraux. Les propriétés texturales constitueraient alors un facteur prééminent de la stabilité structurale.

REFERENCES

(1) BEAUDOU (A.G.), 1977 - Note sur la quantification et le langage typologique. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XV (1), sous presse

(2) BLIC (Ph. de), 1976 - Le comportement de sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture semi-mécanisée : Rôle des traits hérités du milieu naturel.
Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XIV (2), 113-130.

(3) 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.
ORSTOM - AVB, Côte d'Ivoire, 20 p., multigr.

(4) CHATELIN (Y.) et MARTIN (D.), 1972 - Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, X (1), 24-43.

(5) HENIN (S.), GRAS (R.) et MONNIER (G.), 1969 - Le Profil Cultural.
Masson, Paris, 2è éd., 332 p.