

Le comportement de sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée : Rôle des traits hérités du milieu naturel

Philippe de BLIC

*Pédologue de l'ORSTOM
Adiopodoumé, B.P. 20, Abidjan, (Côte d'Ivoire)*

RÉSUMÉ

Le comportement des sols ferrallitiques de la Région Centre Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée dépend pour une large part des caractères originaux qu'ils ont acquis dans leur environnement naturel. L'obtention par les techniques culturales d'un état structural homogène et stable est soumise à trois contraintes principales :

— *Hétérogénéité structurale héritée de la forte différenciation pédologique initiale.*

— *Cohésion élevée des sols à l'état sec.*

— *Susceptibilité des matériaux pédologiques aux tassements sous l'action des engins agricoles.*

Dans le milieu naturel la richesse organo-minérale des sols de recrus forestiers est beaucoup plus élevée que celle des sols de savane. Si, après mise en culture cette richesse se conserve et parfois même s'accroît sous défrichement de savane, elle subit par contre sous défriche forestière une chute extrêmement sévère et rapide, surtout en ce qui concerne les teneurs en matières organiques.

1. INTRODUCTION

L'effet d'une intensification de la mise en valeur agricole sur les propriétés des sols a déjà retenu depuis longtemps l'attention des pédologues tra-

ABSTRACT

The behaviour of central Ivory Coast ferrallitic soils, after mechanical clearing and cultivation, depends very largely on the original pedological features they acquired in their natural environment. To build up an homogeneous and stable structure owed to tillage techniques, the soil has to go through drastic constraints :

— *structural heterogeneity in herited from a strong natural pedological differenciation,*

— *a high coherence of the dried soils in the field,*

— *a susceptibility of the pedological materials to severe compaction by tillage implements (plow soles, traffic pans).*

The mineral and organic contents of forest soils — in their upper part — are much higher than those of savanna soils. After cropping, these contents are preserved and sometimes increased in the soils of savanna clearings. But in the soils of forest clearings, they are liable to extremily severe and rapid decline, especially with regard to the organic matter content.

villant en Afrique tropicale humide. Mais, si de nombreuses études ont été effectuées dans le cadre de stations expérimentales ou de sociétés de développement pratiquant une monoculture à vocation industrielle, on ne possède encore guère de données

sur le comportement des sols soumis à une polyculture familiale modernisée.

Le type d'exploitation agricole que met actuellement en place la Côte d'Ivoire dans les savanes préforestières du centre constitue à cet égard un phénomène nouveau de par son insertion directe en milieu paysannal traditionnel. Fondé sur la mise en place de cultures annuelles semi-mécanisées ce système privilégie une polyculture essentiellement vivrière.

Le passage brutal d'une agriculture traditionnelle itinérante à une agriculture moderne sédentarisée pose des problèmes techniques nouveaux qui, concernant le pédologue, tiennent surtout à la création et au maintien d'un profil cultural satisfaisant.

Un aménagement rationnel du terroir villageois prenant en compte les caractères originaux acquis par les sols dans leur environnement naturel, l'utilisation de systèmes de culture diversifiés et bien adaptés à chaque matériau pédologique en fonction de ses caractères propres seraient susceptibles d'éliminer nombre de ces problèmes. Cela implique qu'avant toute étude plus approfondie le pédologue accomplisse une double démarche :

— le recensement et la hiérarchisation des contraintes pédologiques en milieu cultivé,

— l'évaluation du rôle que jouent les traits hérités du milieu naturel dans le comportement des sols après leur mise en culture mécanisée.

La méthode d'approche, inspirée des techniques d'enquête régionale, s'est 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. L'utilisation de stations couplées milieu naturel — milieu cultivé a permis d'éliminer, dans une certaine mesure, l'effet des facteurs de variation autres que la mise en culture. Le critère « type de formation végétale » a été retenu pour le choix des couples en raison du rôle majeur qu'il joue dans la différenciation des horizons pédologiques superficiels.

Trois aspects de cette étude sont présentés ici :

— morphologie comparée des sols naturels et des sols cultivés,

— compacité des sols (densités apparentes) et son évolution sous culture,

— richesses organique et minérale comparées des sols naturels et des sols cultivés.

2. LE MILIEU NATUREL

2.1. Le climat

Le climat de la région Centre Côte d'Ivoire est du type équatorial de transition atténué (baouléen). Il comporte deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 1 200 mm :

première saison des pluies,	mars-juin	500 mm
petite saison sèche,	juillet-août	210 mm
deuxième saison des pluies,	septembre-octobre	350 mm
grande saison sèche,	novembre-février	140 mm

Plus que ces valeurs moyennes il faut noter la grande irrégularité pluviométrique d'une année à l'autre, surtout marquée dans l'occurrence et la durée des périodes sèches qui surviennent au cours de la première saison des pluies. Cette irrégularité constitue alors un facteur déterminant de la réussite ou de l'échec d'une avant-culture telle que le maïs.

2.2. La roche mère

Le substratum est formé par des granites de type baoulé. Leur altération fournit des arènes sablo-argileuses à argilo-sableuses riches en sables grossiers et pauvres en limons. Ces arènes renferment fréquemment à faible profondeur des débris de roche en cours d'altération.

2.3. Le modelé

Le modelé, faiblement ondulé, est caractérisé par de larges interfluves à sommets plans ou, plus souvent, plan-convexe. Les versants se divisent généralement en deux parties :

— un versant supérieur légèrement convexe,

— un versant inférieur concave empâté par des colluvions sableux plus ou moins épais.

Les pentes, toujours faibles, ne constituent pas un obstacle à l'implantation de blocs mécanisés.

2.4. La végétation

La zone étudiée appartient au domaine guinéen, secteur mésophile, caractérisé par une mosaïque

de savanes préforestières et d'îlots forestiers plus ou moins bien conservés.

Par suite d'une occupation humaine ancienne et d'une densité élevée de population la physionomie et la répartition actuelle des formations végétales traduisent un compromis plus ou moins stable entre les caractères édaphiques et les pratiques culturales traditionnelles.

C'est ainsi que les recrus forestiers bien développés sont généralement localisés en position haute (plateaux, versants supérieurs) sur les sols les plus riches en éléments fins. Le maintien de cet équilibre forestier est nettement favorisé par la technique traditionnelle d'implantation des caféières sous ombrage.

Par contre la plupart des aires de cultures vivrières, installées sur les versants, correspondent à des savanes arbustives ou arborées envahies par une végétation herbacée dense. Les pratiques culturales ont entraîné un appauvrissement très net en éléments fins de la partie supérieure des sols. Brûlis annuel, pauvreté relative en éléments fins, raccourcissement des temps de jachère favorisent le maintien de la savane.

Les recrus forestiers peu développés représentent vraisemblablement un stade récent de mise en culture d'îlots forestiers ou de vieilles caféières. La dégradation des sols n'est pas assez poussée pour mettre un obstacle au recru d'une jachère forestière.

2.5. Les sols

Le Centre de la Côte d'Ivoire est le domaine des sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B).

Leur répartition dans le paysage peut se schématiser de la manière suivante :

— Sur les plateaux et sommets d'interfluves dominant les sols typiques, souvent appauvris ou remaniés, parfois rajeunis.

— Sur les versants supérieurs dominance des sols remaniés : recouvrement épais de 10 à 50 cm au-dessus d'un horizon fortement gravillonnaire et graveleux ; rajeunissement et appauvrissement sont fréquents.

— Les versants inférieurs enfin, voient une dominance nette des sols peu évolués et des sols ferrallitiques appauvris hydromorphes sur colluvions sableux à sablo-argileux.

Les aires de cultures vivrières sont marquées par un appauvrissement très net et quasi général en éléments fins des 20 à 40 cm supérieurs. L'activité

des termites est généralement très importante, surtout sous recrus forestiers.

3. MISE EN VALEUR AGRICOLE

Le système cultural mis en place par l'Autorité pour l'Aménagement du Bandama est caractérisé par :

Une défriche totale motorisée des Ensembles culturaux ; le choix des zones favorables est fondé sur une cartographie pédologique à 1/10 000.

L'implantation de blocs culturaux — cinq par Ensemble — correspondant chacun à une même culture de l'assolement pratiqué ; leur superficie est de l'ordre de 30 hectares, soit 150 hectares pour un Ensemble.

La mise en œuvre de techniques culturales semi-mécanisées avec apport d'engrais sur certaines des cultures.

3.1. Défrichement

Il comprend les opérations suivantes :

- abattage de la végétation au bulldozer avec ou sans brûlis préalable de la strate basse,
- andainage sur des lignes distantes de 50 m et disposées au plus près possible des courbes de niveau,
- arrachage des racines par sous-solage à 30-40 cm.

Un labour à la charrue à disques ou un passage de Rome-plow prépare l'implantation de la première culture.

3.2. L'assolement

Chaque paysan cultive en moyenne un hectare d'igname, de maïs, de coton et de riz, soit quatre hectares au total. La rotation pratiquée jusqu'à présent est quinquennale : igname, maïs-coton, riz, deux années de prairie artificielle à *Stylosanthes*. A la défriche chaque composante de la rotation se retrouve en tête d'assolement sur l'un des cinq blocs.

3.3. Techniques culturales

Les techniques culturales mécanisées sont limitées aux travaux d'implantation de la culture : labour de début de cycle à la charrue à disques, suivi de deux

pulvérisages et d'un semis en ligne. Sarclages, récolte ainsi que le buttage de l'igname sont effectués manuellement. Une fumure minérale est apportée sur les cultures de riz et de coton à raison de 200 kg/ha d'engrais complet.

3.4. Rendements attendus

Ils sont actuellement les suivants :

Igname 12 tonnes/ha
Maïs 22 quintaux/ha
Coton 12 quintaux/ha
Riz 20 quintaux/ha

La prairie artificielle à *Stylosanthes* est destinée à l'engraissement d'un troupeau de bovins.

4. DISPOSITIF D'ÉTUDE

Treize stations ont été retenues. Leur choix, guidé par les cartes pédologiques au 1/10 000 existantes, a été effectué sur les critères suivants :

— échantillonnage représentatif des systèmes sol-végétation mis en culture,

— ancienneté du défrichement (un à trois ans),

— homogénéité interne des couples témoin naturel-bloc cultural.

Deux fosses pédologiques ont été étudiées en chaque site, l'une sous témoin naturel, l'autre sous culture mécanisée.

Les observations et mesures ont comporté :

— morphologie des sols,

— mesures de densité apparente in situ,

— qualité et quantité des matières organiques,

— complexe absorbant,

— caractéristiques physiques et hydriques,

— organisation microstructurale.

On ne retiendra ici que 9 stations bien représentatives dont les caractères principaux sont consignés dans le tableau suivant (tab. I).

TABLEAU I

Caractères stationnels

N°	Lieu	Type de sol	Végétation témoin	Age défriche	Successions culturales	
1	Yoboué N'Zué	typique appauvri	recru forestier bien développé	1 an	igname	
2	Yoboué N'Zué	typique appauvri	savane arbustive	1 an	igname	
3	Yoboué N'Zué	appauvri hydromorphe	savane arbustive	2 ans	coton riz	
4	Yoboué N'Zué	typique remanié	savane arbustive	2 ans	4B coton riz	4C <i>Stylo</i> <i>Stylo</i>
8	Assakra	typique modal	recru forestier bien développé	2 ans	<i>Stylosanthes</i> <i>Stylosanthes</i>	
9	Fitabro	remanié modal à recouvrement	recru forestier bien développé	2 ans	igname maïs - coton	
11	Fitabro	typique modal	savane arborée	2 ans	coton riz	
12	Fitabro	typique modal	recru forestier peu développé	2 ans	igname maïs - coton	
13	Fitabro	remanié modal à recouvrement	recru forestier peu développé	3 ans	igname maïs - coton riz	

5. MORPHOLOGIE DES SOLS

5.1. Milieu naturel

On observe à la partie supérieure des profils, tant sous savane que sous recrus forestiers diversement développés, la succession d'horizons suivante :

— Un horizon humifère épais de 8 à 10 cm, à structure fragmentaire fine, cohésion faible, enracinement élevé.

— Un horizon de pénétration humifère épais de 10 à 15 cm, à structure fragmentaire grossière ou massive à débits polyédriques, cohésion moyenne à forte, enracinement élevé à moyen.

— Un horizon sous-jacent très peu humifère, à structure généralement massive, plus rarement fragmentaire (recrus forestiers), cohésion forte, enracinement moyen à faible.

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

TABLEAU II

Distribution des horizons pédologiques sous savane et sous recrus forestiers suivant leur morphologie

5 profils de recrus 4 profils de savane	H. humifère		H. pénétration humifère		H. sous-jacent	
	Recrus	Savanes	Recrus	Savanes	Recrus	Savanes
Structure fragmentaire fine à moyenne	5	4	—	—	1	—
Structure fragmentaire moyenne à grossière	—	—	4	2	2	—
Structure massive à débits polyédriques	—	—	1	1	—	2
Structure massive	—	—	—	1	2	2
Cohésion faible	5	3	1	1	—	—
Cohésion moyenne	—	1	3	1	1	2
Cohésion forte	—	—	1	2	4	2
Enracinement élevé	5	4	2	1	—	—
Enracinement moyen	—	—	3	2	2	1
Enracinement faible	—	—	—	1	3	3

5.1.1. MORPHOLOGIE DES HORIZONS HUMIFERES

Les horizons humifères observés présentent tous des structures fragmentaires de type polyédrique ou polyédrique subanguleux, plus rarement grumeleux. La taille des agrégats est fine à moyenne (5 à 20 mm), liée à une densité élevée de racines fines.

TABLEAU III

Distribution des horizons humifères suivant la netteté de leur structure

	Recrus bien développés	Recrus peu développés	Savanes
Structure nette	3	—	—
Structure assez nette	—	2	2
Structure peu nette	—	—	2

La netteté de la structure est assez significativement liée aux conditions stationnelles (tab. III) : on n'observe de structures nettes que sous recru forestier bien développé, de structures peu nettes que sous savane.

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

5.1.2. MORPHOLOGIE DES HORIZONS DE PÉNÉTRATION HUMIFÈRE

Sous l'horizon humifère on observe toujours un élargissement de la structure qui devient :

— soit polyédrique moyenne à grossière, c'est le cas le plus fréquent,

— soit massive à débits polyédriques de tailles variées,

— soit plus rarement, massive.

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

5.1.3. MORPHOLOGIE DES HORIZONS SOUS-JACENTS

Sous recru forestier la structure est très variable dans une gamme allant des structures polyédriques fines assez nettes aux structures massives. La cohésion est généralement forte et l'enracinement moyen à faible.

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

5.2. Milieu cultivé

Toujours très nette la limite culturale se surimpose fréquemment à une limite pédologique préexistante (passage de l'horizon de pénétration humifère à l'horizon sous-jacent).

5.2.1. LES HORIZONS CULTURAUX

Epais en moyenne de 15 à 20 cm ils sont caractérisés par une hétérogénéisation très nette de la structure par rapport aux témoins : des zones fortement cohérentes à structure massive sont juxtaposées avec des zones faiblement cohérentes constituées d'un mélange de mottes de tailles variées et d'agrégats grumeleux et polyédriques subanguleux. Les zones les plus cohérentes correspondent généralement à des passages de roues de tracteur (travail en conditions humides).

On peut répartir les horizons cultureux en 4 classes suivant leurs caractères structuraux :

Classe I - structures fragmentaires dominantes

Classe II - structures fragmentaires et massives

Classe III - structures massives dominantes

Classe IV - structures massives seules.

La planche structurale hors texte met en évidence plusieurs causes possibles de cette hétérogénéité structurale :

- héritage de la différenciation structurale entre horizons humifères et de pénétration humifère,
- faible développement des structures en milieu naturel,
- incorporation de fragments massifs et très cohérents provenant de l'horizon sous-jacent,
- tassements sous les roues de tracteur,

— fragmentation insuffisante due à un labour effectué en conditions trop sèches.

Le tableau suivant indique, pour chaque station, les principales contraintes ayant pu influencer sur l'état structural observé. Ne sont retenues que les contraintes nettement figurées.

TABLEAU IV
Etats structuraux observés, leurs causes possibles

Classe structurale	N° station	Horizons naturels		Mise en culture	
		Différenciation structurale	Structures peu nettes	Travail du sol	Mélange H. sous-jacent
I	8	—	—	—	—
II	1	oui	—	—	—
	2	—	oui	labour en sec	—
	3	oui	oui	—	oui
III	4	oui	oui	—	oui
	9	—	—	tassements	oui
	11	oui	oui	—	oui
	13	—	—	tassements	—
IV	12	—	oui	tassements	—

Les conditions de travail du sol représentent dans près de la moitié des situations une contrainte majeure pouvant provoquer une reprise en masse du matériau et ce quels que soient les caractères structuraux hérités du milieu naturel (stations 9, 12 et 13 en particulier).

Il n'en demeure pas moins que les traits structuraux hérités — et plus particulièrement ceux de l'horizon de pénétration humifère — 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.

A noter que l'on n'observe de structures fragmentaires dominantes que lorsqu'aucune des contraintes précitées ne se manifeste nettement (station 8).

L'enracinement, localisé dans les zones faiblement cohérentes, est moyen ; il est quasi nul dans les zones fortement cohérentes.

5.2.2. LES HORIZONS SOUS-JACENTS

Séparés des horizons cultureux par une limite culturale nette ils présentent le plus souvent les caractères suivants :

- structure massive,

TABLEAU V

Distribution comparée des horizons sous-jacents suivant leurs caractères morphologiques

	Limite sup.		Enracinement			Cohésion		Structure	
	Nette	Graduelle	Nul	Faible	Moyen	Forte	Moyenne	Massive	Fragm.
Témoins : 9	4	5	—	6	3	6	3	6	3
Cultures : 9	9	—	7	2	—	7	2	8	1

- cohésion forte,
- enracinement nul ou très faible.

Si l'on compare les horizons sous-jacents des profils cultivés à ceux des profils témoin on note (tab. V) :

- une pénétration très nette de l'enracinement,
- la présence plus fréquente de structures massives en milieu cultivé.

6. DENSITÉS APPARENTES

Les densités apparentes (d_a) ont été mesurées avec un cylindre de 500 cc sur les horizons humifères, les horizons de pénétration humifère, les horizons culturaux. Chaque mesure a été répétée 3 à 4 fois.

6.1. Horizons humifères

6.1.1. CLASSEMENT DES STATIONS

TABLEAU VI

Densités apparentes des horizons humifères

d_a	Rang	Station	Végétation
1,37	1	n° 3	Savane
1,31	2	n° 4	—
1,25	3,5	n° 2	—
1,25	3,5	n° 11	—
1,23	5	n° 1	Recru
1,21	6	n° 12	—
1,11	7	n° 13	—
0,80	8	n° 9	—
0,60	9	n° 8	—

La densité médiane — égale à 1,23 — sépare les horizons humifères en deux groupes bien distincts :

- les horizons de savane à densités supérieures à la médiane,
- les horizons forestiers à densités inférieures à la médiane.

6.1.2. RELATIONS AVEC TEXTURE ET MATIÈRE ORGANIQUE

Si l'on ordonne les valeurs de densité apparente, les teneurs en carbone et les teneurs en argile + limons fins par ordre décroissant on peut calculer des coefficients de corrélation de rangs de Kendall entre ces divers classements :

corrélations totales :

$$\left. \begin{array}{l} d_a - C \\ d_a - A + Lf \\ c - A + Lf \end{array} \right\} \begin{array}{l} r = -0,944 \text{ très hautement significatif} \\ r = -0,722 \text{ hautement significatif} \\ r = 0,611 \text{ significatif} \end{array}$$

Corrélations partielles

$$\left. \begin{array}{l} \text{à } A + Lf \text{ constant } d_a - C \\ \text{à } C \text{ — } d_a - A + Lf \\ \text{à } d_a \text{ — } C - A + Lf \end{array} \right\} \begin{array}{l} r = -0,918 \\ r = -0,556 \\ r = -0,309 \end{array}$$

Plus le niveau « carbone — éléments fins » d'un horizon humifère est élevé, plus sa densité apparente est faible. Les coefficients de corrélation partielle confirment le rôle prééminent que jouent les teneurs en matière organique dans l'allègement des horizons.

Il n'existe aucune corrélation significative entre la densité apparente et la somme Limons grossiers + sables fins. Par contre les teneurs en Sables grossiers sont en corrélation positive avec la densité apparente ($r = 0,666$, hautement significatif).

6.2. Horizons de pénétration humifère

6.2.1. CLASSEMENT DES STATIONS

La densité médiane est égale à 1,33, soit une augmentation de 8 % par rapport aux horizons humifères.

La distinction entre horizons de savane et de recru est un peu moins marquée.

TABLEAU VII

Densités apparentes des horizons de pénétration humifère

da	Rang	Station	Végétation
1,43	1	n° 11	Savane
1,39	2	n° 3	—
1,37	3,5	n° 2	—
1,37	3,5	n° 1	Recru
1,33	5	n° 4	Savane
1,27	6	n° 12	Recru
1,26	7	n° 9	—
1,24	8	n° 8	—
1,14	9	n° 13	—

6.2.2. RELATIONS AVEC TEXTURE ET MATIÈRE ORGANIQUE

corrélations totales Kendall :

$$\left\{ \begin{array}{l} da-C \\ da-A+Lf \\ C-A+Lf \end{array} \right\} \begin{array}{l} r = -0,527 \text{ significatif} \\ r = -0,666 \text{ hautement significatif} \\ r = 0,722 \text{ hautement significatif} \end{array}$$

corrélations partielles

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{à } A+Lf \text{ constant } da-C \\ \text{à } C \quad \quad \quad da-A+Lf \\ \text{à } da \quad \quad \quad C-A+Lf \end{array} \right\} \begin{array}{l} r = -0,089 \\ r = -0,485 \\ r = 0,585 \end{array}$$

L'allègement des horizons de pénétration humifère est fonction de la richesse en éléments fins plus que de la teneur en matières organiques.

Il existe une corrélation positive entre les densités apparentes et les teneurs en Sables grossiers ($r = 0,555$ sign.). Aucune liaison significative n'apparaît par contre avec les teneurs en Limons grossiers + sables fins.

6.3. Horizons cultureaux

6.3.1. CLASSEMENT DES STATIONS

La station 2, venant d'être labourée, a été éliminée.

La densité médiane est 1,40 soit 5 % de plus que les horizons de pénétration humifère.

Les horizons cultureaux de savane ont tendance à conserver des densités apparentes supérieures à ceux provenant de recrus. On verra que ce classement est étroitement lié à celui de la richesse en éléments fins.

TABLEAU VIII

Densités apparentes des horizons cultureaux

da	Rang	Station	Végétation initiale
1,49	1	n° 3	Savane
1,48	2	n° 4 C	—
1,45	3,5	n° 4 B	—
1,45	3,5	n° 12	Recru
1,40	5	n° 1	—
1,38	6	n° 9	—
1,34	7	n° 13	—
1,33	8	n° 11	Savane
1,16	9	n° 8	Recru

6.3.2. RELATIONS AVEC TEXTURE ET MATIÈRE ORGANIQUE

corrélations totales Kendall

$$\left\{ \begin{array}{l} da-C \\ da-A+Lf \\ C-A+Lf \end{array} \right\} \begin{array}{l} r = -0,222 \text{ non significatif} \\ r = -0,777 \text{ hautement significatif} \\ r = 0,444 \text{ non significatif} \end{array}$$

corrélations partielles

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{à } A+Lf \text{ constant } da-C \\ \text{à } C \quad \quad \quad da-A+Lf \\ \text{à } da \quad \quad \quad C-A+Lf \end{array} \right\} \begin{array}{l} r = 0,218 \\ r = -0,776 \\ r = 0,442 \end{array}$$

Défrichage et mise en culture ont rompu l'équilibre naturel existant entre texture et matière organique. L'allègement des horizons cultureaux est fonction étroite des teneurs en éléments fins mais n'est pas significativement lié aux teneurs en matières organiques.

6.4. Comparaison milieu naturel et milieu cultivé

On retient ici, pour chaque profil naturel, la densité apparente moyenne de l'horizon humifère et de l'horizon de pénétration humifère pondérée pour tenir compte des différences d'épaisseur respectives des deux horizons.

On établit ensuite, pour chaque station, un indice de variation calculé de la manière suivante :

$$\text{Indice de variation} = 100 \times da \text{ culture} / da \text{ témoin.}$$

Ce classement est en bon accord avec les observations morphologiques qui avaient mis en évidence des tassements importants dans plusieurs horizons cultureaux (stations 9, 12, 13).

L'indice médian, correspondant à la station 4C, représente une augmentation de densité apparente

TABLEAU IX

Classement des indices de variation des horizons culturaux par rapport aux témoins

Indice de variation	Rang	Station	Végétation initiale	Dernière culture
120	1	n° 9	Recru	Coton
119	2	n° 13	—	Riz
117	3	n° 12	—	Coton
116	4	n° 8	—	Stylo
112	5	n° 4C	Savane	Stylo
110	6	n° 4B	—	Riz
108	7	n° 3	—	Riz
107	8	n° 1	Recru	Igname
99	9	n° 11	Savane	Riz

de 12 % par rapport au témoin, c'est à dire une diminution de la porosité de 12 % environ.

Il existe une corrélation négative entre le classement des densités apparentes moyennes des horizons témoin et celui des indices de variation (r Kendall = $-0,555$ significatif à la probabilité 0,05). Cela signifie que la mise en culture a tendance à réduire la différenciation initiale du milieu.

6.5. Interprétation

On peut considérer que les valeurs de densité apparente traduisent, à un instant donné, un état d'équilibre entre facteurs d'allègement et facteurs de condensation (F.X. Humbel 1974).

Dans les horizons humifères forestiers on observe une prédominance nette des facteurs d'allègement liés à l'accumulation des matières organiques et surtout à l'activité biologique intense qu'elles suscitent (stations 8 et 9). En lame mince ces horizons apparaissent surtout constitués de déjections et débris d'édifices biologiques à assemblage lâche. Sous savane par contre le rôle plus important des facteurs de condensation - activité humaine, exposition accrue au soleil et aux pluies -, l'atténuation des facteurs d'allègement — matière organique moins abondante, activité biologique réduite — se traduisent par des densités apparentes plus élevées.

Dans les horizons de pénétration humifère on observe les mêmes phénomènes, mais nettement atténués en raison d'une différenciation moins poussée suivant le type de végétation. La richesse en éléments fins tend alors à prendre le pas sur les autres facteurs

d'allègement ce qui est en accord avec des études théoriques récentes qui mettent en évidence une diminution de la susceptibilité des sols au tassement quand les taux d'argile augmentent (Faure et Fies, 1972).

Défrichement et mise en culture mécanisée provoquent une modification brutale du pédoclimat et des facteurs d'allègement naturels. Les processus de condensation, de tassement, sont alors étroitement tributaires de la texture qui commande directement les possibilités de réarrangement du matériau sous l'effet des contraintes.

7. EVOLUTION DES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Les objectifs sont les suivants :

Rechercher les paramètres permettant de porter un jugement global sur la richesse chimique des systèmes sol-végétation naturels,

Classer ces systèmes suivant le jugement porté sur chacun d'eux,

Evaluer l'incidence de la mise en culture sur ces systèmes.

7.1. Le milieu naturel

7.1.1. RECHERCHE DES PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES

La recherche systématique des liaisons existant entre les divers paramètres mesurés a conduit à en retenir cinq qui, en raison des fortes corrélations les liant, sont susceptibles de fournir une image précise de la richesse chimique des sols.

Ces paramètres sont les suivants : Carbone total, Azote total, Capacité d'échange T, Somme des bases échangeables S, Phosphore total.

Le coefficient de concordance de Kendall entre les rangs de ces cinq paramètres est $W = 0,857$ significatif au seuil 0,001.

On a également calculé les corrélations de rangs de Kendall liant ces paramètres entre eux d'une part, avec les teneurs en argile + limons fins d'autres part.

Les calculs sont effectués à partir de la moyenne pondérée des deux horizons superficiels (humifère et pénétration humifère).

TABLEAU X
Corrélations de rangs de Kendall
Milieu naturel

	A+Lf	C	N	T	S
P	++	++	+	++	++
S	++	++	+	++++	
T	++	+++	+		
N	++++	++++			
C	+++				

$n = 9$.

$$r_{0,001} = 0,780 \begin{array}{c} + + + + \\ - - - - \end{array}$$

$$r_{0,005} = 0,690 \begin{array}{c} + + + \\ - - - - \end{array}$$

$$r_{0,010} = 0,640 \begin{array}{c} + + \\ - - - - \end{array}$$

$$r_{0,050} = 0,470 \begin{array}{c} + \\ - - - - \\ \text{NS} \end{array}$$

7.1.2. CLASSEMENT DES STATIONS

Chaque paramètre est classé dans l'ordre décroissant des valeurs. Puis on calcule, pour chaque station, la somme des rangs obtenus par les cinq paramètres. Le classement final s'établit alors en réordonnant les sommes de rangs dans l'ordre croissant.

Ce classement ne permet pas d'apprécier l'ampleur des différences entre les stations. Il est donc complété par un *indice de différenciation* établi de la manière suivante : la station arrivant en tête du classement est prise comme référence et l'on attribue l'indice 100 à chacun des cinq paramètres qui la caractérisent ; on calcule alors, pour chacune des autres stations, l'indice moyen de différenciation des paramètres par rapport à la station de référence.

La différenciation entre recru forestier et savane se confirme nettement ; il y a, du fait des équilibres naturels ou pseudo-naturels, conjonction pour que les sols les plus riches en éléments fins soient également les plus riches en éléments minéraux et en matière organique.

L'examen des indices de différenciation montre que les horizons de savane constituent un groupe beaucoup plus homogène que les horizons de recru. Seule la station 11 parvient à s'intercaler en raison de sa richesse relative en éléments fins.

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 2, 1976 : 113-130

TABLEAU XI
Classement des stations (milieu naturel) suivant leur richesse chimique

Rang	Station	Végétation	Indice de différenciation
1	n° 13	Recru	100
2	n° 12	Recru	81
3	n° 8	Recru	67,7
4	n° 9	Recru	62,6
5	n° 11	Savane	46
6,5	n° 1	Recru	42
6,5	n° 2	Savane	37
8	n° 4	Savane	37,1
9	n° 3	Savane	26,9

On remarquera enfin la pauvreté chimique de la station 3 établie sur un sol ferrallitique appauvri hydromorphe.

7.2. Le milieu cultivé

7.2.1. LIAISONS ENTRE PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES

Le coefficient de concordance de Kendall entre les classements des cinq paramètres est $W = 0,819$ significatif au seuil 0,001.

TABLEAU XII
Corrélations de rangs de Kendall. Milieu cultivé

	A+Lf	C	N	T	S
P	+	+++	+	++	+++
S	NS	+++	+	+	
T	+	++++	++++		
N	+	+++			
C	NS				

$n = 10$

$$r_{0,001} = 0,763 \begin{array}{c} + + + + \\ - - - - \end{array}$$

$$r_{0,005} = 0,639 \begin{array}{c} + + + \\ - - - - \end{array}$$

$$r_{0,010} = 0,578 \begin{array}{c} + + \\ - - - - \end{array}$$

$$r_{0,050} = 0,409 \begin{array}{c} + \\ - - - - \\ \text{NS} \end{array}$$

L'examen de ce tableau de corrélation de Kendall montre que la richesse chimique des horizons culturaux dépend étroitement du niveau organique. Les liaisons avec la texture deviennent par contre très lâches sinon inexistantes. Défrichement et mise en culture ont donc entraîné une rupture de l'équilibre naturel entre texture et matière organique.

7.2.2. CLASSEMENT DES STATIONS

Le classement des stations est effectué comme précédemment par ordre décroissant de richesse organique et minérale. Les indices de différenciation se rapportent à la station 13 témoin prise comme base 100.

TABLEAU XIII

Classement des stations (milieu cultivé) suivant leur richesse chimique

Rang	Station	Végétation initiale	Indice de différenciation
1	n° 13	Recru	85,5
2	n° 9	Recru	55,5
3	n° 12	Recru	56
4	n° 4 B	Savane	45
5	n° 8	Recru	40,2*
6	n° 4 C	Savane	43,3
7	n° 11	Savane	40,3
8	n° 2	Savane	39,7
9	n° 1	Recru	29,6
10	n° 3	Savane	24,6

* Somme des bases très faible.

L'examen de ce tableau montre :

— une différenciation beaucoup moins nette, suivant le type de végétation initiale, que dans le milieu naturel ;

— un regroupement des horizons culturaux indiquant une tendance à l'homogénéisation du milieu par la mise en culture.

L'appariement des profils témoin et des profils cultivés au sein de chaque station va permettre à présent d'évaluer plus précisément l'incidence de la mise en culture sur les systèmes sol-végétation naturels.

7.3. Comparaison milieu naturel - milieu cultivé

7.3.1. INDICES DE VARIATION

Afin de comparer plus aisément les stations entre elles on a rapporté les paramètres des horizons culturaux à leurs homologues naturels :

Indice de variation = $100 \times \frac{\text{Paramètre cult.}}{\text{Paramètre naturel}}$.

Les recrues forestiers subissent tous, du fait de la mise en culture, une diminution importante et rapide (station 1, un an de culture seulement) de leur potentiel de fertilité, surtout sensible en ce qui concerne la matière organique. La richesse en éléments fins reste pratiquement identique à celle du milieu naturel. Cet appauvrissement peut être imputé :

— A un décapage partiel de l'horizon humifère au cours des opérations de défrichement. Les obser-

TABLEAU XIV

Indices de variation des horizons culturaux par rapport aux témoins

Station	A+Lf	Végétation initiale	N	C	T	S	P	Indice moyen CNTSP
n° 8	118	Recru	46	55	93	31	76	60
n° 12	95	Recru	67	67	74	93	53	71
n° 1	99	Recru	61	58	75	86	92	74
n° 13	98	Recru	54	65	108	106	95	85
n° 11	115	Savane	106	90	95	76	78	89
n° 9	100	Recru	68	74	90	100	121	91
n° 3	122	Savane	109	104	95	73	80	92
n° 2	121	Savane	88	98	117	112	117	106
n° 4C	111	Savane	117	123	119	119	103	116
n° 4 B	147	Savane	117	124	127	126	106	120

TABLEAU XV

Indices médians et signification des différences entre cultures de recru et cultures de savane
(test non paramétrique de Mann-Whitney)

Paramètres	Indices médians		Recoupement des populations	Signification des différences test de Mann-Whitney
	Cultures de Recrus	Cultures de Savanes		
C	65	104	non	hautement significatif
N	61	109	non	hautement significatif
T	90	117	Oui (faible)	significatif
S	93	112	oui	non significatif
P	92	103	oui	non significatif
CNTSP	74	106	oui (faible)	significatif
A + Lf	99	121	oui (faible)	significatif

vations morphologiques montrent que, dans le cas de la station 8, ce décapage a été quasi total. En raison de la forte différenciation verticale du profil chimique l'incorporation de matériaux profonds riches en éléments fins ne compense que dans une très faible mesure l'élimination de l'horizon superficiel.

— A la minéralisation brutale de la matière organique après défrichement, suivie de l'élimination rapide des produits de cette minéralisation.

Les horizons cultureux issus de savane, par contre, présentent généralement des teneurs en matière organique et éléments minéraux un peu plus élevées que leurs homologues naturels. Cette amélioration de leurs propriétés est en corrélation très nette avec un enrichissement en éléments fins. Les profils naturels sous savane étant chimiquement beaucoup moins différenciés que sous recru forestier l'incorporation de matériaux plus profonds riches en éléments fins peut avoir un effet bénéfique sur les propriétés chimiques des horizons cultureux.

7.3.2. RICHESSE ORGANIQUE ET MINÉRALE RÉELLE

Les résultats analytiques bruts traduisent la richesse organique et minérale *intrinsèque* des divers matériaux pédologiques étudiés. On peut tenter à présent d'estimer la richesse *réelle* des horizons compte tenu de leur épaisseur et de leur densité apparente, c'est-à-dire en rapportant les données pondérales à un volume de sol. Afin de rester à l'échelle d'une fosse pédolo-

gique on considèrera le volume de terre représenté par une surface de un mètre carré sur l'épaisseur réelle de l'horizon (horizon humifère + pénétration humifère d'une part, horizon cultural d'autre part).

TABLEAU XVI

Richesse réelle des horizons (valeurs médianes)

	Recrus témoin	Savanes témoin	Cultures de recrus	Cultures de savanes
Matière organique kg/m ²	8,2	4,4	6,1	4,1
N en g/m ²	356	169	232	154
Ca + Mg en g/m ² ..	270	134	263	135
K en g/m ²	20	14	20	10
P en g/m ²	117	90	140	81

La richesse organique et minérale des 20 cm supérieurs est environ deux fois plus élevée sous recru forestier que sous savane, exception faite du potassium et du phosphore.

La mise en culture mécanisée provoque, sous recru, une chute très importante des quantités de matière organique et d'azote. Les bases échangeables et le phosphore ne subissent que peu de changements.

Les horizons culturaux issus de savane ne sont pratiquement pas modifiés par rapport à leurs homologues naturels.

Les horizons culturaux de recru conservent des teneurs en matière organique et en éléments minéraux très supérieures à celles des horizons culturaux de savane.

8. CONCLUSION

8.1. Dans la région Centre et sur roche mère granitique, on observe, du fait des équilibres naturels ou pseudo-naturels, une liaison étroite entre la texture des sols et leur couverture végétale. Par conséquent des corrélations positives hautement significatives relient la richesse en éléments fins, les teneurs en matières organiques, la richesse minérale des horizons pédologiques superficiels.

8.2. La forte différenciation pédologique des sols naturels se traduit par un élargissement rapide de la structure qui, de polyédrique fine dans l'horizon humifère, devient nettement plus grossière dans l'horizon de pénétration humifère et souvent massive dans l'horizon sous-jacent à partir de 20-25 cm de profondeur.

Les premiers stades de la mise en culture mécanisée ont tendance à accentuer cette différenciation initiale :

- par la création d'un horizon cultural à structure très hétérogène tant par la taille des éléments structuraux que par leur cohésion ;

- par la surimposition fréquente d'une limite culturale très nette à une limite pédologique pré-existante ; les racines ne pénètrent alors que très difficilement l'horizon sous-jacent massif et très cohérent.

Le profil cultural est donc pratiquement limité à l'horizon de labour épais de 15 à 20 cm.

8.3. Pour tirer alors le meilleur parti de cet horizon de labour il faut créer un état structural homogène et stable qui permette une exploitation intensive de l'horizon par les racines.

Trois problèmes principaux se posent à ce niveau :

- l'hétérogénéité structurale héritée de la différenciation pédologique initiale,

- la cohésion élevée que présentent les sols à l'état sec,

- enfin et surtout la susceptibilité des sols aux tassements, susceptibilité qui s'avère particulièrement élevée dans la gamme texturale régionale.

8.4. Si l'on considère la richesse organique et minérale des sols on peut distinguer :

- une richesse intrinsèque du matériau pédologique telle que l'expriment les données analytiques brutes,

- une richesse réelle qui tient compte des quantités d'éléments présents dans une couche de sol d'épaisseur et densité apparente données.

Dans le milieu naturel on observe, en raison de la liaison texture-matière organique, une supériorité très nette des sols de recru forestier dont la richesse organo-minérale tant réelle qu'intrinsèque est beaucoup plus élevée que celle des sols de savane.

Si, après mise en culture, cette richesse se conserve et parfois même s'accroît sous savane, elle subit par contre sous recru forestier une chute extrêmement sévère et rapide, surtout en ce qui concerne les teneurs en matières organiques. Cette chute peut être imputée :

- à l'élimination partielle ou totale de l'horizon humifère, particulièrement fragile et où se concentre souvent l'essentiel de la richesse chimique,

- à la minéralisation brutale de la matière organique suivie de l'élimination rapide des produits de cette minéralisation.

Toute mise en valeur devrait donc tenir largement compte — tant dans l'aménagement du terroir villageois que dans le choix des techniques culturales — du rôle important que jouent les caractères initiaux du milieu sur le comportement des sols durant les premiers cycles culturaux et veiller en particulier à ce que le potentiel de fertilité des recrues forestières soit rentabilisé au maximum.

STRUCTURE		
FORME	TAILLE	NETTETE
F - fragmentaire Mp - massive à débits polyédriques M - massive S - particulière Mot motteuse	1 - fine à moyenne 2 - moyenne à grossière	1 - peu nette 2 - assez nette 3 - nette
le signe + indique la juxtaposition de types structuraux distincts le signe / indique l'interpénétration de types structuraux distincts		
RACINES	COHESION	
0 - très peu de racines 1 - quelques racines 2 - racines 3 - nombreuses racines	0 - sans cohésion 1 - cohésion faible 2 - cohésion moyenne 3 - cohésion forte	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> ----- ----- ----- </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> limite pédologique nette limite pédologique graduelle limite culturale </div>		

Structure	Coh.	Rac.
-----------	------	------

Structure	Coh.	Rac.
-----------	------	------

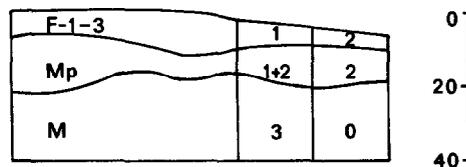
TEMOINS

CULTURES

STATION - 1

Recru
Igne

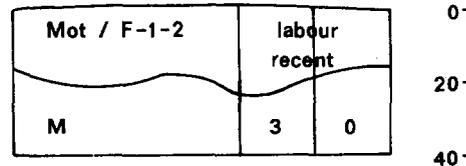
F-1-3	1	3
Mp	3	2
F-2-1	3	1



STATION - 2

Savane
Igne

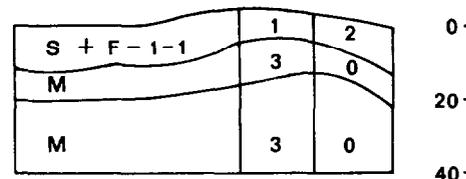
F-1-1	1	3
F-2-1	3	2
M	3	1



STATION - 3

Savane
Coton
Riz

F-1-1	1	3
F-2-3	1	3
Mp	2	2



Structure. Cohésion. Enracinement.

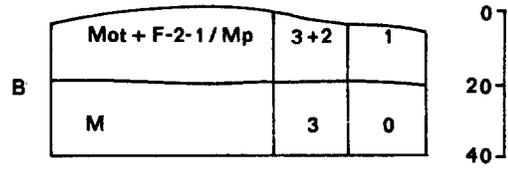
TEMOINS

CULTURES

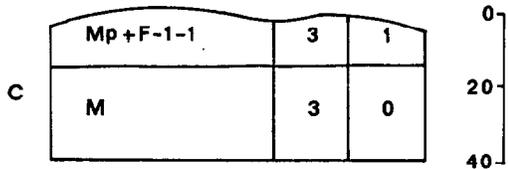
STATION - 4

B { Savane
Coton
Riz

F-1-2	1	3
Mp	2	2
M	3	1



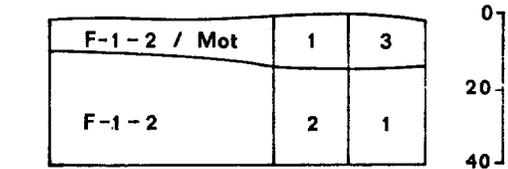
C { Savane
Stylo
Stylo



STATION - 8

Recru
Stylo
Stylo

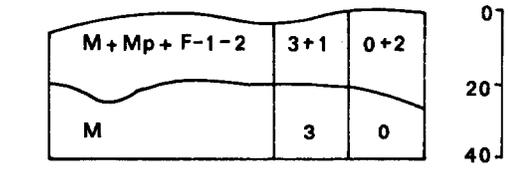
déjections	0	3
F-2-2	2	3
F-1-2	2	2



STATION - 9

Recru
Igname
Maïs-Coton

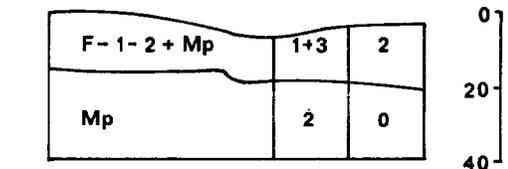
F-1-3	0	3
F-2-2 + Mp	2	3+2
M	3	2



STATION - 11

Savane
Coton
Riz

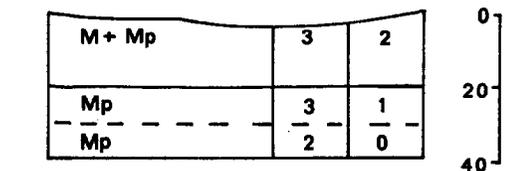
F-1-2	2	3
M	3	1
Mp	2	1



STATION - 12

Recru
Igname
Maïs-Coton

F-1-2	1	3
F-2-3 / Mot	2	2
M	3	1



STATION - 13

Recru
Igname
Maïs-Coton
Riz

Mot + F-1-2	1	3
F-2-3	2	3
F-2-1	3	1

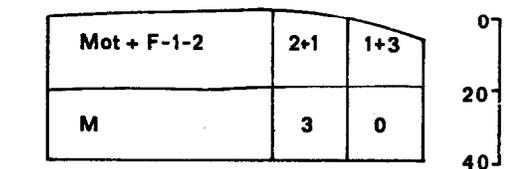


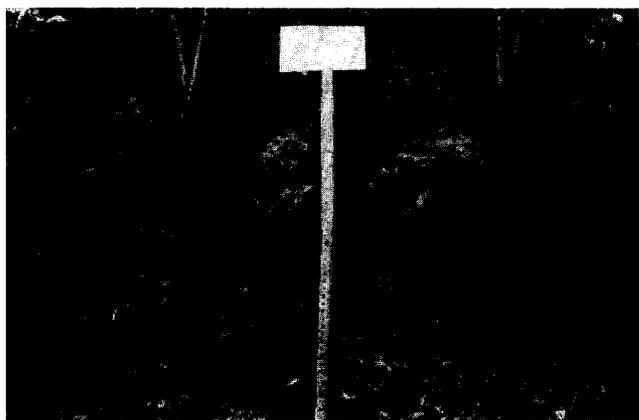
PLANCHE II



← 1. — Station 11, Riz. Noter la faible épaisseur de l'horizon cultural, la croûte de battance continue, la zone centrale tassée.



2. — Station 12, Recru forestier. Elargissement rapide de la structure avec la profondeur, bonne exploitation racinaire. →



← 3. — Station 12, Coton. Le même sol que la photo précédente après défrichage et labour mécanisé en conditions humides. La zone centrale correspond à un passage de roue de tracteur.

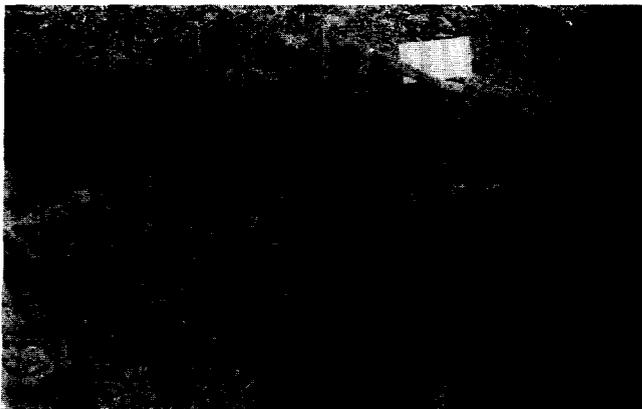
PLANCHE III



← 4. — Station 4, Savane. Noter l'élargissement rapide de la structure qui devient massive à partir de 20 cm de profondeur.



5. — Station 4B. Le même sol après une culture de riz. →
Faible épaisseur de l'horizon cultural qui est bien structuré.



← 6. — Station 4C. Le même sol sous prairie à Stylosanthes. Densification très nette de l'horizon cultural sous l'effet du piétinement du bétail.

BIBLIOGRAPHIE

- PROJET DE PÉDOLOGIE NC/71/003 PNUD-FAO-AVB. — Etude des sols, zone de Fitabro, déc. 1971. Etude des sols, zone d'Assakra, nov. 1971. Rapport multigr., cartes pédologiques et d'aptitudes culturales au 1/10 000, A.V.B. éd.
- AUBERT (G.), 1960. — Influence de la végétation sur le sol en zone tropicale humide et semi-humide in : Rapports du sol et de la végétation, Masson, Paris : 11-22.
- AUDRY (P.) et al., 1972, 1973. — Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Définition, méthodologie, techniques, limitations actuelles. Quelques voies de recherches possibles. ORSTOM, Comité technique de pédologie. Bulletin de groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols, n° 1, n° 2, 126 p. + annexes, *multigr.*
- BLIC (P. 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 (P. de), 1975. — Comportement des sols après mise en culture mécanisée (région Centre Côte d'Ivoire). ORSTOM, Adiopodoumé, 47 p., *multigr.*
- BOYER (J.), 1970. — Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique inter-tropicale francophone. ORSTOM, Paris, 175 p., *multigr.*
- FAURE (A.), FIES (J.C.), 1972. — Etude expérimentale de la sensibilité au compactage de matériaux meubles en fonction de leur composition granulométrique. Ann. Agr., 23 (3) : 317-332.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.). — 1969, Le profil cultural. Masson, Paris, 2^e éd., 332 p.
- HUMBEL (F.X.), 1974. — La compacité de sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., vol. XII, n° 1, 73-101.
- POUZET (A.), FILLONNEAU (C.), 1975. — Contraintes agronomiques dans les systèmes culturaux semi-mécanisés de la région Centre. Observations de l'année 1974 sur des ensembles du Secteur de Béoumi de l'Autorité pour l'Aménagement de la Vallée du Bandama. ORSTOM, AVB, Adiopodoumé, 47 p., *multigr.*, + annexes.
- SIEGEL (S.), 1956. — Non parametric statistic for the behavioral science. Mc Graw-Hill, éd., 312 p.